



1

1998

Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge



	INHALT	CONTENTS	Seite
STACKEBRANDT, W.	Vorbemerkungen zum Themenheft Stabilität von Flußdeichen	Preface „Stability of River Dikes“	3/5
BROSE, F.	Genese holozäner Flußauen, dargestellt am Beispiel des unteren Odertales	The Genesis of the Holocene Flood Plains, Presented on the Lower Oder Valley	7
NIESCHE, H. & KRÜGER, F.	Das Oder-Hochwasser 1997 – Verlauf, Deichschäden und Deichverteidigung	The Oder Flood of 1997 – Development, Dike Damage and Dike Defense	15
WEICHELT W. & GRIESBACH, R.	Beiträge der Fernerkundung zur Lösung von Umweltproblemen in der Oderregion	Contributions of Remote Sensing Methods for the Solution of Environmental Problems in the Oder Region	23
RECHTERN, J.	Konstruktion und Bemessung von Hochwasserschutzdeichen	Construction and Dimension of Flood Dikes	31
EHLE, N. & EICHHORN, S.	Demonstration einer Stand- sicherheitsuntersuchung am Oderdeich, Abschnitt „Hohenwutzen“, km 70,4-70,5	Demonstration of a Structural Stability Study of the Oder Dikes, Section „Hohenwutzen“, km 70,4-70,5	37
BRANDT, G. & RICHTER, CH.	Geophysikalische Untersuchung der Beschaffenheit der Deich- anlagen und der geohydraulischen Eigenschaften des Untergrundes	Geophysical Studies on the Constitution of the Dikes and the Geohydraulical Properties of the Substratum	43
KNOLL, P., HERBST, R. & PREUß, J.	Methodische Fortschritte zur Untersuchung des Aufbaus und des Zustandes vorhandener Deichbauten	Methodological Advances in the Study of the Construction and State of Existing Dike Structures	51
KÜHN, F. & BROSE, F.	Die Auswertung von Fernerkundungsdaten zur Deichzustandseinschätzung	The Evaluation of Remote Sensing Data for the Assessment of the Dikes	59

Fortsetzung: 3. Umschlagseite

Titelbild: Deichbruchstelle Aurith, Ziltendorfer Niederung. Blick von Süden auf die Durchbruchstelle und den erosiv angeschnittenen Deichkörper. Foto: F. Brose, 21. August 1997

Finanzierung mit Lottomitteln des Landes Brandenburg.

Herausgeber: © Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg, Direktor: Dr. Werner Stackebrandt
Tel. (03 32 03) 3 66 00, Fax (03 32 03) 3 67 02

Redaktionsbeirat: Dr. Werner Stackebrandt, Dr. habil. Fritz Brose, Dr. Volker Manhenke, Dr. Peter Nestler, Dr. Volker Scheps,
Prof. Dr. habil. Joachim Tiedemann, Dr. Hans Ulrich Thieke

Redaktion: Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg, Stahnsdorfer Damm 77, 14532 Kleinmachnow

Verantwortlicher Redakteur: Dr. Gerhard Ehmke

Redaktionelle Mitarbeit: Dr. Wolfgang Bartmann

Layout und Satz: Kathrin Schmid

Erscheinungsweise: Die Schriftenreihe erscheint jährlich mit 1 bis 2 Heften.

Druck: Digital- & Offsetdruck Grabow, Teltow

Printed in Germany

ISSN 0947-1995

**Geologische und ingenieurgeologische
Beiträge zur Standsicherheit
von Flußdeichen**

Kleinmachnow 1998

Brandenburgische Geowiss. Beitr.	Kleinmachnow	5 (1998), 1	S. 3	
----------------------------------	--------------	-------------	------	--

Vorbemerkungen zum Themenheft Stabilität von Flußdeichen

Der dramatische Verlauf des Oderhochwassers im Sommer 1997 hat eindringlich vor Augen geführt, daß wir mit der Entscheidung zur Nutzung der überflutungsgefährdeten Flußauen zwangsläufig auch bereit sein müssen, das damit verbundene zusätzliche Gefährdungspotential zu akzeptieren.

Dank des unermüdlichen Einsatzes der zahlreichen Sicherungskräfte konnte zwar am brandenburgischen Abschnitt der Oder Schlimmeres verhindert werden, dennoch wurde die besondere Problematik des Bauens in Flußauen nachdrücklich unterstrichen. Von erhöhter Sensibilität sind dabei die Bauwerke, mittels derer der Schutz der Menschen und Kulturgüter in den Auen gewährleistet werden soll und deren Stabilität ganz wesentlich von der geologischen Untergrundsituation abhängig ist. Dieser spezifisch ingenieurgeologischen Thematik der Hochwassergefährdung widmete sich die 6. Fachtagung des Landesamtes für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg: **Ingenieurgeologische Beiträge zur Stabilität von Flußdeichen**.

Die eintägige Vortagsveranstaltung im Potsdamer "Haus der Begegnungen" führte am 28. 10. 1997 Experten aus verschiedenen Institutionen und mit der Untersuchung des Untergrundes bzw. der Deichsanierung befaßten Firmen zum praktischen Erfahrungsaustausch zusammen, wobei sich auch im Verlauf der Veranstaltung die Einbeziehung von Erfahrungsträgern aus anderen potentiellen Hochwassergefährdungsgebieten (Nordsee, Untereibe) als besonders fruchtbar erwies.

Mit der Präsentation eines wesentlichen Teils dieser Vorträge in einem Themenheft der Brandenburgischen Geowissenschaftlichen Beiträge sollen die Möglichkeiten (ingenieur-)geologischer Untersuchungen zur Standortbewertung unter besonderer Berücksichtigung der vom inhomogenen Untergrund ausgehenden Risikopotentiale für die Stabilität von Deichbauwerken aufgezeigt werden.

Inhaltlich spannt sich der Bogen von der Analyse der wechselvollen geologischen **Entwicklung und Landschaftsgenese der Oderaue** in Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen und den an die sich ändernden Abflußverhältnisse gebundenen stetig wechselnden Sedimentationsbedingungen (Beitrag BROSE) bis zur **Optimierung von Deichquerschnitten**, wie sie sich nach den Hochwasserereignissen in den 60er Jahren in Hamburg als notwendig erwies (Beitrag RECHTERN).

Aus geologischer Sicht kommt dem Wissen über die räumliche Verbreitung von Stillwassersedimenten (Torfe, Mudden) für die Stabilität der Deiche eine besondere Bedeutung zu. Ihrem Nachweis widmen sich mehrere Beiträge, wobei der Verknüpfung von bodengebundenen und satelliten- bzw. luftbildgestützten Informationen (Beitrag KÜHN & BROSE) besondere Effizienz zukommen dürfte. Dagegen liegt der Vorteil des aufnahmetechnisch vielseitigen und aus unterschiedlichen Höhen aufgenommenen Bilddatenpools zur Oderregion in der hohen Informationsdichte, die es für die Verbesserung der Hochwasservorsorge unverzichtbar macht (Beitrag WEICHELT & GRIESBACH).

Als tiefergehender Ursache für die Deichbrüche verweist SIROCKO auf die mögliche Auswirkung von neotektonisch aktiven Tiefenstörungen, denen er nicht nur für die Ausrichtung der norddeutschen Ströme, sondern auch für die Lage der Deichbruchstellen Bedeutung beimißt. Erfahrungen mit der geophysikalischen Lockergesteintomografie und bohrlochgeophysikalische Untersuchungen in Kombination mit Oberflächenmessungen zur Standsicherheitsanalyse der Oderdeiche werden in den Beiträgen von EHLE & EICHHORN, KNOLL, HERBST & PREUß sowie BRANDT & RICHTER vermittelt.

Einen lebendig-authentischen Eindruck von den Anstrengungen der Deichverteidigung vermittelt der Beitrag von NIESCHE & KRÜGER, die zugleich auch auf die Notwendigkeit des engen Zusammenwirkens der verschiedenen Fachrichtungen bei der langfristig in Angriff zu nehmenden Rekonstruktion der Deiche hinweisen. Das hierfür erforderliche natürliche Deichbaumaterial wird von HÖDING, LUDWIG & BROSE einer ersten Bewertung unterzogen und auf seine regionale Verfügbarkeit in der Oderregion hin überprüft.

Die Beiträge dieses Themenheftes belegen eindrucksvoll die fundierten Aussagemöglichkeiten geologischer Untersuchungsmethoden zur Standortbewertung von Flußdeichen. Dieses Fachwissen auch künftig für die nur langfristig umsetzbare Überprüfung und Rekonstruktion der Deichbauwerke zur Verfügung zu stellen, wird den Mitarbeitern des LGRB eine Verpflichtung sein.

DR. WERNER STACKEBRANDT
Direktor

Brandenburgische Geowiss. Beitr.	Kleinmachnow	5 (1998), 1	S. 5	
----------------------------------	--------------	-------------	------	--

Preface

„Stability of River Dikes“

The dramatic course of events concerning the flooding of the Oder region in the summer of 1997 has forcefully made us all aware that if we decide to use the riverside meadows which are in danger of being flooded, we must also be prepared to accept the accompanying additional risks.

Thanks to the untiring efforts of the numerous security forces worse things could be prevented along the Brandenburg section of the Oder, however the particular problems of building in meadowlands have been pointed out. Particularly sensitive are the structures which ensure the protection of the people and cultural assets of the meadowlands and whose stability is considerably dependent on the conditions of the geological substratum. This specifically geo-engineering them of flood danger was the subject of the 6th conference of the Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg ‘**Geo-engineering Contributions to the Stability of River Dikes**’.

The one-day series of lectures in the ‘Haus der Begegnungen’ in Potsdam on 28 October 1997 led to a practical exchange of ideas an experience by experts from various institutions and companies involved in the analysis of the substratum and dike restoration. In addition, the contributions from experts from other potentially flood endangered regions (North Sea, Lower Elbe) proved to be especially fruitful.

With the presentation of a considerable part of the lectures in this issue of the Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge, the possibilities of a geological resp. engineering survey for an assessment of the local conditions are shown, taking into account the risk potential resulting from the inhomogeneous substratum for the stability of the dike structures.

The content ranges from an analysis of the varied geological development and the **genesis of the landscape of the Oder meadowlands** in its dependency on the climatic conditions and the constantly changing sediment conditions resulting from changes in river flow (contribution by BROSE) to the **optimisation of dike cross sections**, which proved necessary after the flooding in Hamburg in the 60’s (contribution by RECHTERN).

From a geological point of view, knowledge of the spatial dispersion of slack water sediments (peat and mud) for the stability of dikes takes on a special importance. Several contributions are devoted to their evidence, whereby the connection of ground-based and satellite and/or aerial photography-supported information (contribution by KÜHN & BROSE) is particularly efficient. As an alternative there is the advantage of the photographically versatile pool of photo data from the Oder region taken from various altitudes and containing the high degree of information essential for the improvement of flood prevention measures (contribution by WEICHELT & GRIESBACH).

As a deeper-lying cause for the dike breaches SIROCKO points out the possible effects of neotectonic active depth disturbances, to which he, not only for the direction of north German rivers, but also for the location of dike breaches attaches importance. Experience with geophysical tomography and geophysical drillhole analyses in combination with surface measurements to analyse the structural stability of the Oder dikes is described in the contributions of EHLE & EICHHORN, as well as KNOLL, HERBST & PREUß and BRANDT & RICHTER.

A lively and authentic impression of the efforts to protect the dikes was given in the contribution by NIESCHE & KRÜGER, which also pointed out the necessity of close co-operation between the various professional fields in the long-term reconstruction of the dikes. The natural dike construction material required for this reconstruction has been analysed and assessed by HÖDING, LUDWIG & BROSE and its availability in the region investigated.

The contributions show in an impressive way the possibilities for well-founded statements of geological examination procedures for the state of river dikes. To make this professional knowledge available for the long-term examination and reconstruction of the dike structures will be a task for the staff of the LGRB.

DR. W. STACKEBRANDT
Director

Brandenburgische Geowiss. Beitr.	Kleinmachnow	5 (1998), 1	S. 7 – 13	7 Abb., 12 Lit.
----------------------------------	--------------	-------------	-----------	-----------------

Genese holozäner Flußauen, dargestellt am Beispiel des unteren Odertals

FRITZ BROSE

1. Entwicklung des Sedimentationsraumes

Die Anlage der mitteleuropäischen Flußtäler im unmittelbaren Einflußbereich der pleistozänen Inlandvereisung erfolgte bereits im ausgehenden Tertiär. Tertiäre Entwässerungssysteme führten die anfallenden Niederschlagswässer von den durch junge Gebirgsbewegungen generell nach Norden abgedachten Mittelgebirgen in nördlicher bis nordwestlicher Richtung ab. Dabei hatten sich ausgereifte Flußsysteme entwickelt, die im Nordteil des Betrachtungsraumes durch die glazialen Einflüsse im nachfolgenden Pleistozän bis auf geringe Relikte im südlichen Mitteleuropa jeweils wieder beseitigt wurden. Jedes von Norden vorstoßende Inlandeis überfuhr das in den Warmzeiten angelegte Entwässerungssystem und egalisierte das Gewässernetz weitgehend. Da generell die Tendenz zu konstatieren ist, daß die jüngeren Eisvorstöße nicht so weit nach Süden reichten wie die vorhergehenden, entstanden faziell unterschiedliche Abschnitte der Schmelzwasserabflußbahnen und Flußsysteme. Jedes einer Eisrandlage zugehörige Abflußregime bildete seine Terrassen der Reichweite des jeweiligen Eisvorstoßes entsprechend, welche sich je nach Lage der Erosionsbasis und nach der Zeitdauer der Erosions- und Akkumulationsvorgänge unterschiedlich weit in Richtung Oberlauf entwickelten und ineinander verschachtelten (BROSE & PRÄGER 1979, GALON 1971, KARZEWSKI 1969 u. a.).

Die Schmelzwässer im mitteleuropäischen Raum flossen vor den Inlandeismassen zumeist von ESE nach WNW ab. Aufgrund der Eisdynamik und der damit verbundenen spätglazialen Entwässerung waren an Lobennähten und im Stirnbebereich der Eisloben Unstetigkeiten ausgebildet, an denen nach dem Eisrückzug die Wässer mit zunehmendem Niederschlagsanteil aus dem südlichen Einzugsgebiet relativ schnell die freigegebenen Randlagenbildungen nach N durchbrachen. An der Oder finden sich solche Durchbrüche u. a. bei Frankfurt/Oder (Frankfurter Randlage), bei Oderberg (Pommersche Randlage) und bei Crieven (Angermünder Randlage). Der holozäne Sedimentationsraum ist folglich im Unterlauf der heutigen Flüsse von pleistozänen Hochflächen und glazialen Schmelzwasserterrassen begrenzt. Für die Oder konnten 17 unterschiedlich alte Terrassen nachgewiesen und den einzelnen Schmelzwasserabflußbahnen zugeordnet werden. Davon entstanden fünf Terrassen durch die Schmelzwässer der letzten, der Weichsel-Vereisung.

Die Haupttäler der großen mittel- und osteuropäischen Flüsse wie Elbe, Oder und Weichsel waren also vor dem Weichselglazial bereits vorgezeichnet. So sind im Randbereich des Oderbruches bei Wriezen eemzeitliche Sedimente mit warmzeitlichen Altarmfaunen und -flore nachgewiesen, während gleichzeitig nur 1 500 m westlich auf der angrenzenden Hochfläche geringdimensionierte Depressionen mit feinklastischen und organogenen Sedimenten aufgefüllt wurden (BROSE 1988). Vorweichselzeitliche Entwässerungsbahnen sind auch für den Raum Schwedt und das Randowtal wie auch im Spreebereich zwischen Cottbus und Beeskow zu belegen.

Mit dem Rückzug des Weichseleises und dem damit verbundenen schrittweisen Freiwerden jeweils nördlicher gelegener Schmelzwasserabflußbahnen kam es zur Anlage von in-

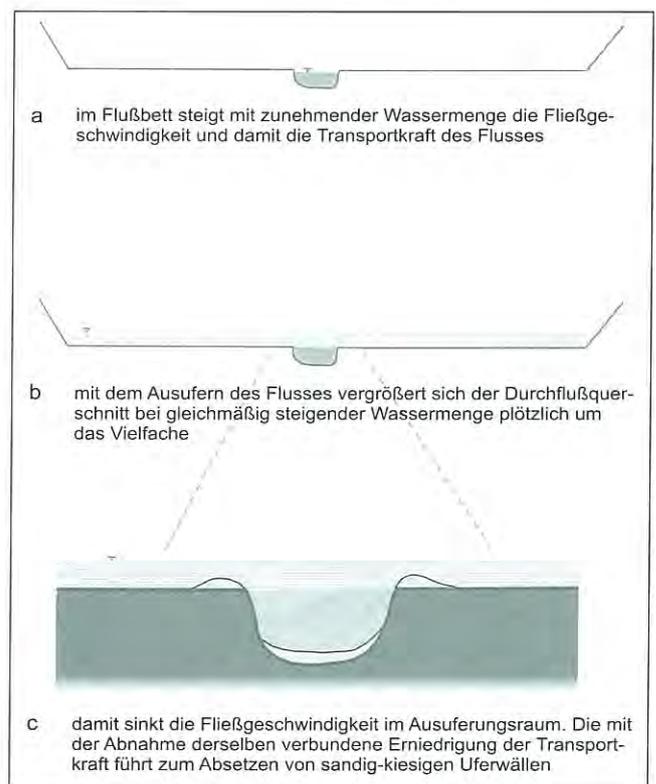


Abb. 1
Änderungen im hydraulischen Regime eines Flusses während des Ausuferns

einander verschachtelten Terrassensystemen. Die ältesten Terrassen sind mit Abflüssen von Randlagen der Elstervereisung zu verbinden. Nach Norden zu sind die Terrassen jüngeren Eisvorstößen zuzuordnen, sie sind jeweils nur in Resten erhalten und stellen zumeist Produkte von Akkumulations- und Erosionsprozessen dar. So können an der Oberfläche einzelner Terrassenkörper ältere Sedimentrümpfe neben unterschiedlich mächtigen Schmelzwasserablagerungen anstehen. Mit dem vollständigen Rückzug des letzten Eises aus unserem Raum setzte der Höhepunkt in der morphologischen Entwicklung der künftigen holozänen Flußsysteme ein. Ver-



Abb. 2
Rezente Uferwallbildungen an der Oder bei Aurith/Urad als Folge des Hochwassers 1997

bunden mit einer kurzfristigen Senkung der marinen Erosionsbasis auf mehr als -60 m unter heutigem Ostseespiegel an der Wende vom Pleistozän zum Holozän begann noch unter periglazialen Bedingungen und bei damit bedingtem hohen Wasseranfall eine starke Erosionsphase. Dabei entstanden neben einem relativ steilen Gefälle der Basis des Hauptstromes kurze Seitentäler mit großer Höhendifferenz zwischen Talbeginn und dem Mündungsbereich. An der unteren Oder

sind diese Täler maximal 1 500 m lang bei Höhenunterschieden um 60 m bis maximal 170 m - z. B. am Freienwalder Stauchungskomplex. Die Maximaleintiefung im Hauptstrom der Oder betrug, in Relation zur rezenten Auenoberfläche beginnend etwa bei Neuzelle, bei

Ziltendorf	bereits	11 m
Frankfurt/Oder		21 m
Bad Freienwalde		35 m
Stolpe		> 45 m
Garz		> 50 m.

Nach der Maximaleintiefung, die ebenfalls für die anderen großen mitteleuropäischen Ströme nachgewiesen wurde (u. a. BROSE 1972, DOBRACKA 1983, DROZDOWSKI 1981, GALON 1971), setzte im Holozän eine schrittweise Aufschotterung der so entstandenen Hohlform ein. Mit dem schnellen Anstieg der marinen Erosionsbasis nach der Maximaleintiefung war bei weiterem hohen Wasseranfall und dementsprechender Transportleistung der abfließenden Wässer die Bildung eines mächtigen Schotterkörpers bis auf 8 - 15 m unter der rezenten Auenoberfläche für den Unterlauf der Oder verbunden. Der Raum, in dem sich die holozänen Auen entwickeln konnten, war folglich seitlich von älteren pleistozänen Sedimentfolgen und Terrassenresten sowie nach unten von einer spätpleistozänen Erosionsbasis und einem mächtigen Schotterkomplex begrenzt.

2. Ablagerungsmechanismen

Die Intensität von Erosions- und Akkumulationsprozessen ist direkt abhängig von der Wassermenge, dem Abflußquerschnitt und dem Gefälle der Flüsse. Generell ist während des Holozäns eine Abnahme der abzuführenden Wassermengen und der dynamischen Aktivitäten der Systeme zu konstatieren. Im ausgehenden Pleistozän überwiegt der Anteil von Schmelzwässern des Inlandeises an der Gesamtmenge des abfließenden Wassers, im Bereich des Permafrostes nimmt während des Eisrückzugs der Niederschlagsanteil zu. Nach Austauen des Dauerfrostes und dem Freiwerden der unterirdischen Abflußmöglichkeiten in den Grundwasserleitern ver-

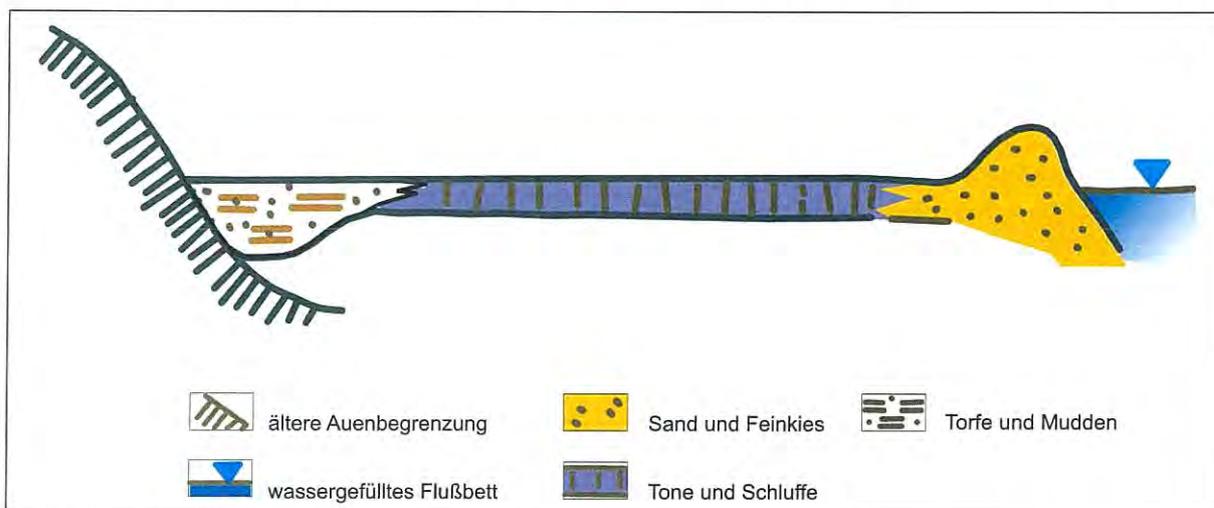


Abb. 3
Schema der Akkumulationsräume im Überflutungsbereich der Flußauen

bleibt als oberirdischer Abfluß der Niederschlagsanteil des Einzugsgebietes ohne Verdunstung und eines Teils des unterirdischen Abflusses.

Mit Abnahme der Wassermenge nimmt, wie oben dargestellt, die Erosionsleistung der Flüsse ab. Ein meßbarer Ausdruck dieses Vorgangs findet sich in den abnehmenden Mäanderradien in der Aue (BROSE 1988, KOZARSKI 1983, MARCINEK 1968). Die ersten großen Mäander sind noch während des Pleistozäns mit Radien von 3,6 km am unteren Oderlauf angelegt. Die holozäne Auenentwicklung ist maßgeblich abhängig von der Wasserführung und der Fließgeschwindigkeit der Flüsse, diese werden wiederum von der Klimaentwicklung und dem Gefälle beeinflusst. Die Wasserführung der Flüsse ist unter anderem abhängig von kurz- und langfristigen Änderungen der Niederschlagsmengen, also klimagesteuert. Weiterhin beeinflusst der Reifegrad des Flußsystems, d. h. die Ausbildung seines Einzugsgebietes, die Wasserführung. Entgegen früheren Annahmen ist auch das Vegetationsbild innerhalb des oberirdischen Einzugsgebietes mitbestimmend für die Abflußhöhe. Eingriffe in das Vegetationsgeschehen, wie flächenhafte Entwaldung können den Abfluß bei gleichem Einzugsgebiet fast verdoppeln (KUPRIANOW et al. 1980).

Das Gefälle im unteren Laufabschnitt der angesprochenen großen mitteleuropäischen Flüsse wird maßgeblich durch Änderungen der Lage der Erosionsbasis, d. h. durch Schwankungen des Meeresspiegels bestimmt. Weniger relevant sind lokale Erosionsbasisänderungen durch natürliche Mäanderdurchschnitte und anthropogene Eingriffe wie der Oderdurchstich östlich Neuenhagen. Die Wasserführung der großen Flüsse schwankt überwiegend meteorologisch gesteuert im jährlichen Zyklus um einen Mittelwert. Der vorgenannte Mittelwert wiederum ändert sich über längere Zeiträume ebenso wie die Lage der Erosionsbasis. So ist die Wasserführung der Flüsse ständigen Schwankungen unterworfen, denen sich das jeweilige Abflußsystem in gewissen Grenzen mit einem selbstregulierenden Mechanismus anpaßt. Die Abnahme der abzuführenden Wassermenge oder des Gefälles führt zu einer Verlangsamung der Fließgeschwindigkeit und zur Abnahme der Schleppspannung des Wassers. Es setzt folglich eine Akkumulationsphase am Gewässergrund ein, was wiederum eine Verringerung des Flußbettquerschnitts zur Folge hat. Bei zunehmender Wasserführung oder zunehmendem Gefälle steigt die Fließgeschwindigkeit, die Schleppspannung nimmt zu und eine Erosionsphase beginnt. Folglich bildet sich das Flußbett der Wasserführung des Flusses entsprechend um.

Eine wesentliche Rolle in der Entwicklung der holozänen Auen spielen kurzzeitige Anstiege der Wasserführung, die Hochwässer. Mit einsetzendem Hochwasser steigt die Wassermenge und damit die Transportleistung eines Flusses schnell und kontinuierlich an. Übersteigt die abzuführende Wassermenge den verfügbaren Abflußquerschnitt im Flußbett, ufer der Fluß aus. Mit dem Ausuferen ist eine plötzliche Querschnittsvergrößerung bei gleichmäßig zunehmender Wassermenge verbunden (Abb. 1 u. 2). Die Querschnittsvergrößerung bewirkt ein Abnehmen der Fließgeschwindigkeit und der damit verbundenen Transportkraft am Übergang vom

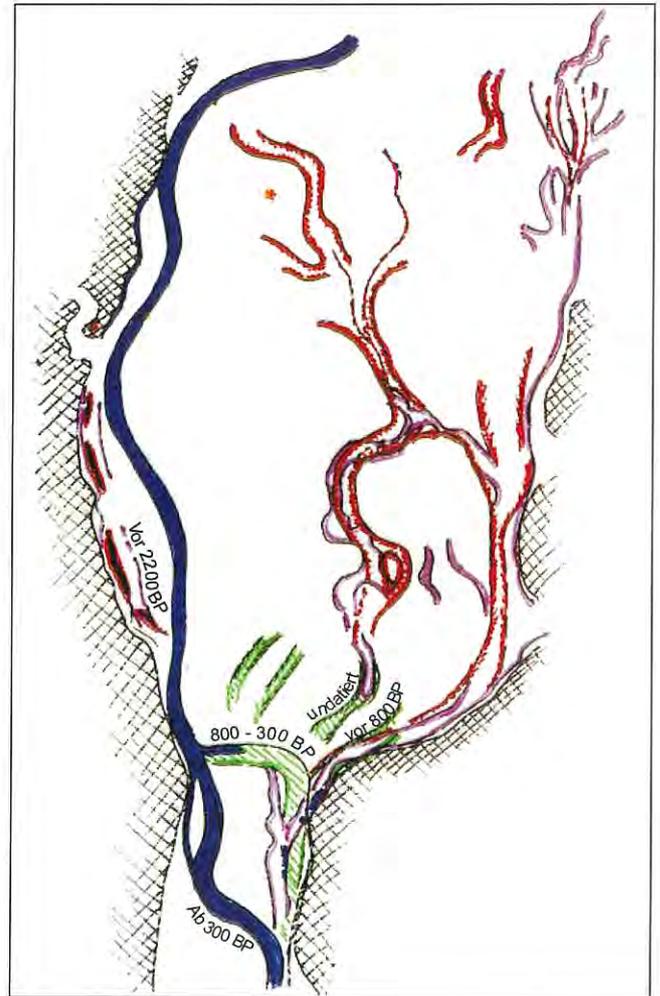


Abb. 4
Schema der Laufentwicklung der Oder nördlich des Oderdurchbruchstaes bei Frankfurt/Oder

Fluß zur Aue. Dadurch kommt es am Ort des Geschwindigkeitswechsels, dem Flußufer zum Ausfallen eines Teils der Sedimentfracht des Flusses und längs des Ufers bilden sich die sogenannten Uferwälle. Hinter dem Uferwall herrscht eine um Größenordnungen geringere Fließgeschwindigkeit als im Flußbett, hier kommt es zur Akkumulation schluffig-toniger Sedimente mit unterschiedlichem Organogenanteil. Es entsteht der Auelehm (Klei im norddeutschen Sprachbereich). In den flußfernen Abschnitten der Aue werden bei ± stagnierendem Wasser organogene Sedimente akkumuliert (Abb. 3). Es sind Übergänge zwischen den einzelnen Faziesbereichen zu konstatieren, woraus resultiert, daß z. B. der Auelehm als Faziesbegriff auf recht unterschiedliche fraktionierte Sedimente angewandt wird (HÄNDEL 1967).

Ein wesentliches Gestaltungselement in der holozänen Auenengese sind die Flußbettverlagerungen. Der oben vorgestellte Mechanismus der Angleichung des Querschnitts an die Wasserführung des Flusses führt nach mehrfachem Hochwasser mit Uferwallbildung zu einer Aufhöhung des Flußbettes gegenüber den umgebenden Sedimenten, wie es vielfach an Extrembeispielen am Hwang-ho und dem Mississippi delta beschrieben wurde.

Wird nun bei einem Hochwasser der Uferwall auf kurzem Abschnitt durchbrochen, bildet sich aufgrund der turbulenten Strömung im Durchbruch eine Ausspülung (ein Kolk), die an der Oder bis mehr als 10 m unter das Sohlniveau des Flusses reichen kann. Kurzzeitige starke rückwärtsschreitende Erosion schneidet diesen Kolk bis in das ursprüngliche Fluß-

zontaler und vertikaler Erstreckung deutlich. Oberflächlich entwickelt sich durch die Uferwallbildungen und Flußbettverlagerungen ein Mosaik unterschiedlicher Sedimente, aus dem die sandig-kiesigen Uferwälle netzartig hervortreten. Es entsteht das Bild der Wallnetzaue (HRABOWSKI et al. 1983). Abbildung 6 zeigt am Beispiel der Ziltendorfer Niederung

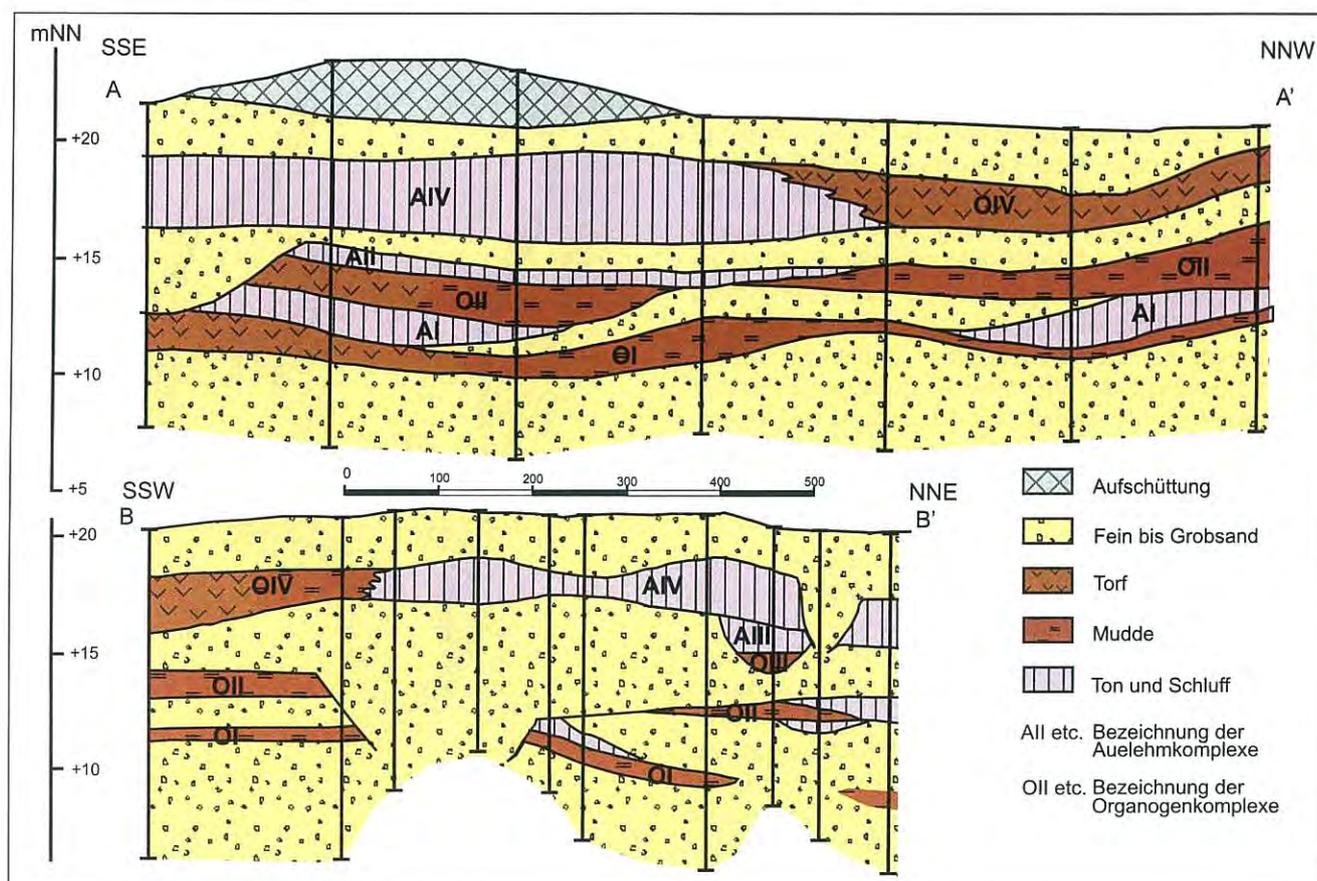


Abb. 5
Profilschnitte der Oderaue ca. 5 km nördlich von Frankfurt/Oder

bett zurück. Damit steht bei Rückgang des Hochwassers der auf den ursprünglichen Wert reduzierten Wassermenge des Flusses nunmehr der doppelte Querschnitt zur Verfügung. Das bedingt in dem jetzt flacheren ehemaligen Hauptlauf eine Reduzierung der durchfließenden Wassermenge, verbunden mit einer Reduzierung der Transportkraft und der Akkumulation von Sedimentfracht in diesem Flußabschnitt. Der ehemalige Hauptstrom wird ohne anthropogenen Eingriff zum Nebenarm. Belege für diesen Prozeß sind in der Oderaue vielfältig belegbar und können von historischer Zeit bis in die Bronzezeit teilweise bereits datiert werden. Abbildung 3 zeigt die Laufentwicklung der Oder im Durchbruchstal unmittelbar nördlich von Frankfurt/Oder während der letzten dreitausend Jahre. Es sind alle geologisch nachweisbaren Flußläufe im Odertal dargestellt. Bei mehrfacher Flußverlagerung entsteht ein in vertikaler und horizontaler Erstreckung kompliziert aufgebauter Sedimentkomplex. In Abbildung 4 wird ein Profil aus der Oderaue nördlich von Frankfurt/Oder wiedergegeben. Das Profil macht die genetisch bedingte Verschachtelung der unterschiedlichen Sedimentpakete in hori-

einen von vielen Altwässern vorgenannter Genese durchzogenen, bereits eingedeichten Abschnitt der Oderaue vor ca. 240 Jahren.

3. Sedimenttypen

Die im holozänen Auenkörper dominierenden Sedimente sind:

Sandwälle

Sandwälle bestehen überwiegend aus der Sedimentfracht des jeweiligen Flusses. In der Oderaue handelt es sich um fein- bis grobkörnige Sande mit geringem Fein- bis Mittelkiesanteil.

Flächenhafte Sandablagerungen

Flächenhafte Sandablagerungen bestehen entweder aus älteren pleistozänen Schmelzwasserablagerungen, die als Erosionsrumpfe im Auenbereich stehenbleiben und an dem breit gefächerten Kornspektrum, der Schichtungsstruktur sowie dem Gesteinsbestand zu erkennen sind, oder sie bestehen aus in Schwemmfächern abgelagerter Geschiebefracht hinter Uferwalldurchbrüchen. Diese sind an ihrer geringen

Mächtigkeit (zwischen 0,5 und 1,5 m) und ihrem spezifischen Kornspektrum, das dem der Uferwälle gleicht, zu erkennen.

Auelehm

Der Auelehm ist nach HÄNDEL (1967) als Faziesbegriff für die schluffig-tonigen Sedimente der Aue anzuwenden. Reine Tone können über zunehmendem Schluff- und geringem Feinsandanteil mit mehr oder weniger organogenen Beimengungen auftreten. Die Mächtigkeiten der einzelnen Auelehm-Bildungen liegen zwischen 0,5 und 4 m. In der Oderaue können max. 5 unterschiedlich alte Auelehme übereinander auftreten.

Organogene Sedimente

Erste Torfbildungen lassen sich in der Oderaue im Alleröd $C^{14} = 11\ 840 \pm 70$ BP (Bln - 2837) belegen (BROSE 1988). Organogen verunreinigte Sande sind bereits früher im tiefsten Teil des holozänen Auenkörpers nachweisbar. Weitere Torfbildungen finden in jeweils wechselnden Abschnitten der Aue während des gesamten Holozäns mit Ausnahme des letzten Jahrhunderts statt. Das Aussetzen organogener Sedimentation ist ausschließlich auf anthropogenen Einfluß zurückzuführen. Insgesamt wurden bei günstigen Voraussetzungen bis zu mehr als 8 m Torf in einzelnen Auenbereichen akkumuliert.

Es sind zwei unterschiedliche Hauptbildungsräume für organogene Sedimente zu unterscheiden. Flächenhaft wurde in den tiefergelegenen, von der Auenaufrhöhung zuletzt erfaßten Bereichen Torf abgelagert. Zur rinnenförmigen Organogenakkumulation kam es jeweils nach der Verlegung des Hauptstromes in den dabei entstandenen Altarmen. Wesentlich für die Bewertung der Auentwicklung und der Flußdynamik ist eine junge flächenhafte Torfbildung, die im gesamten Unterlauf der Oder nachweisbar ist. Eine durchschnittlich 0,5 m mächtige Torfablagerung tritt bis etwa 1,2 m über der rezenten Auenoberfläche auf. Ihr Bildungsalter konnte nördlich von Schwedt auf etwa 900 bis 700 BP bestimmt werden (BROSE 1988). Genetisch bedingt und mit dem Hochwassergeschehen an den großen Flüssen verbunden, gibt es zwischen dem Auelehm und der reinen Organogenakkumulation eine Vielzahl von fließenden Übergängen in Form von Mudden mit unterschiedlichen Organogenanteilen.

Sonstige Sedimente

Nur mit geringen Anteilen am Aufbau des holozänen Sedimentkörpers der Aue beteiligt sind organogene Kalkablagerungen, die Seekreiden, und die Vorkommen von Raseneisenstein. Beide sind irrelevant für die Standsicherheit von Flußdeichen. Während des Holozäns hatten diese Sedimente für die im und am Bruch siedelnden Menschen zeitweise

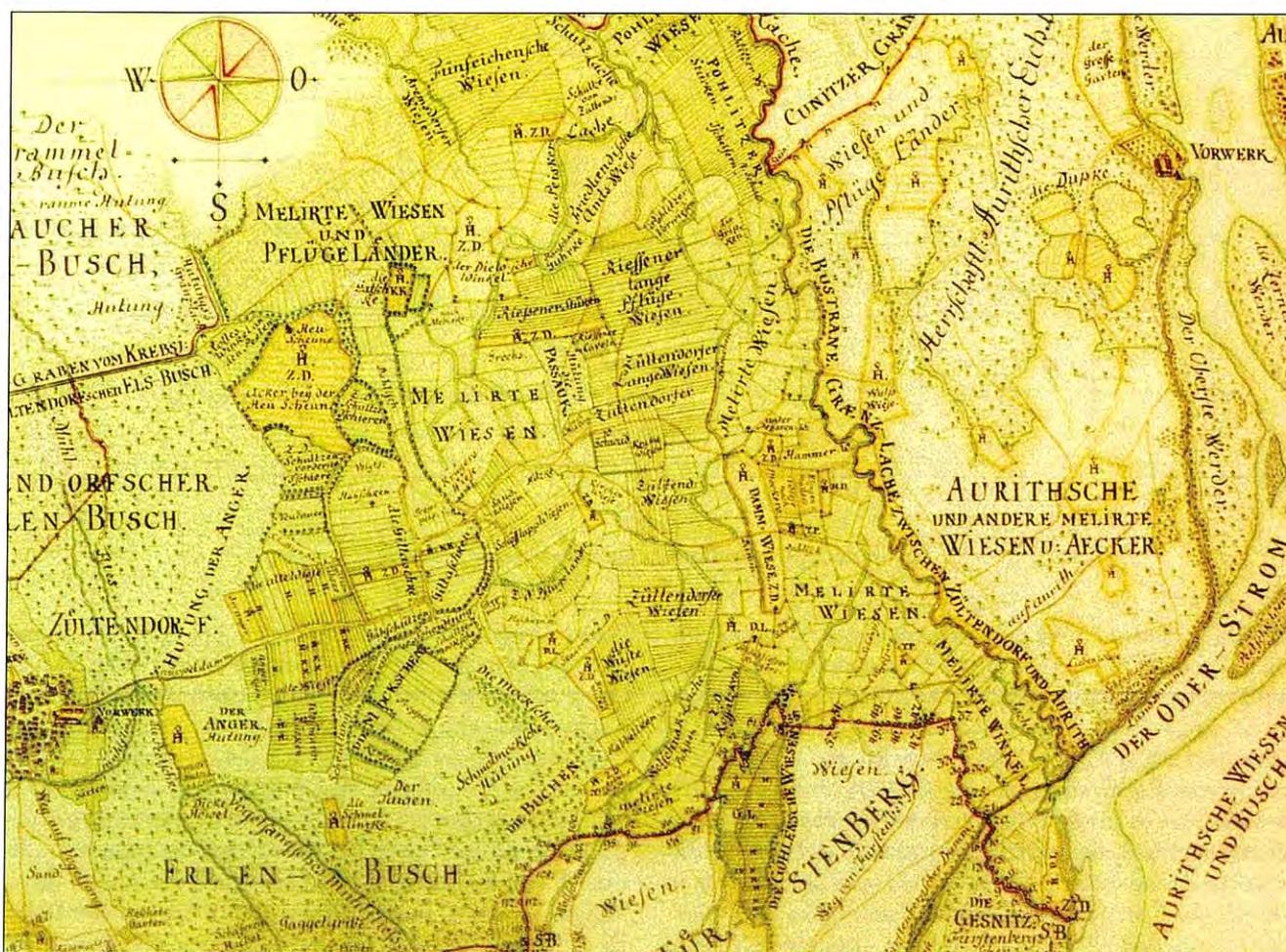


Abb. 6
Ausschnitt aus Blatt 29, Zültdorfer Niederung, aus dem „Neuzeller Atlas“. Stiftung Preußischer Kulturbesitz.

Bedeutung als Rohstoff. Seekreiden wurden zur Branntkalkherstellung und zum Düngen kalkarmer Felder gewonnen. Raseneisenstein hatte seit der Eisenzeit bis zur Mitte des vorigen Jahrhunderts seine Bedeutung als leicht verhüttbares Eisenerz.

4. Bedeutung der Hochwässer in der holozänen Auenentwicklung

Als Hochwasser wird der Zustand in einem oberirdischen Gewässer bezeichnet, bei dem 'der Wasserstand oder der Durchfluß einen bestimmten Wert (Schwellenwert) erreicht oder übertroffen hat.' (DIN 4049-3, S. 25).

An der unteren Oder liegen die Zeiten extrem hoher Wasserstände in der Regel um sieben bis zehn Tage, können aber unter ungünstigen meteorologischen Bedingungen auch bis zu zwanzig Tagen andauern, wie es das Sommerhochwasser 1997 belegte. Verallgemeinernd ist festzustellen, daß es sich bei Hochwasserständen (HW) und den dazugehörigen Nied-

Die in Abbildung 7 dargestellte Kurve des mittleren Wasserstandes der Oder im unteren Laufgebiet für die letzten 3 000 Jahre läßt erkennen, daß Zeiten relativ langandauernder niedriger Wasserstände mit nur wenige Jahrhunderte währenden Abschnitten hoher Dauerwasserstände in der Aue wechseln. Während der Zeiträume mit niedrigem Spiegelstand waren die Auen siedlungsfreundlich, Auenwälder entwickelten sich und Bodenbildungsprozesse begannen. Zu Zeiten hoher Wasserstände in den Auen versumpften diese flächenhaft, menschliche Kulturen wurden gleichsam aus der Aue auf die angrenzenden Terrassenreste und Hochflächen gedrängt. Mit den säkularen Wasserhochständen sind die intensivsten Flußbettverlagerungen und eine generelle Aufhöhung der Auenoberfläche verbunden. Mit verstärkter Wasserführung wächst die Geschiebefracht der Flüsse und damit das Akkumulationspotential derselben.

In den letzten 3 000 Jahren vor heute sind drei Wasserspiegelnhochstände in der Oderaue und davon abhängig drei Perioden intensiver Aufhöhung des Auenniveaus nachgewiesen.

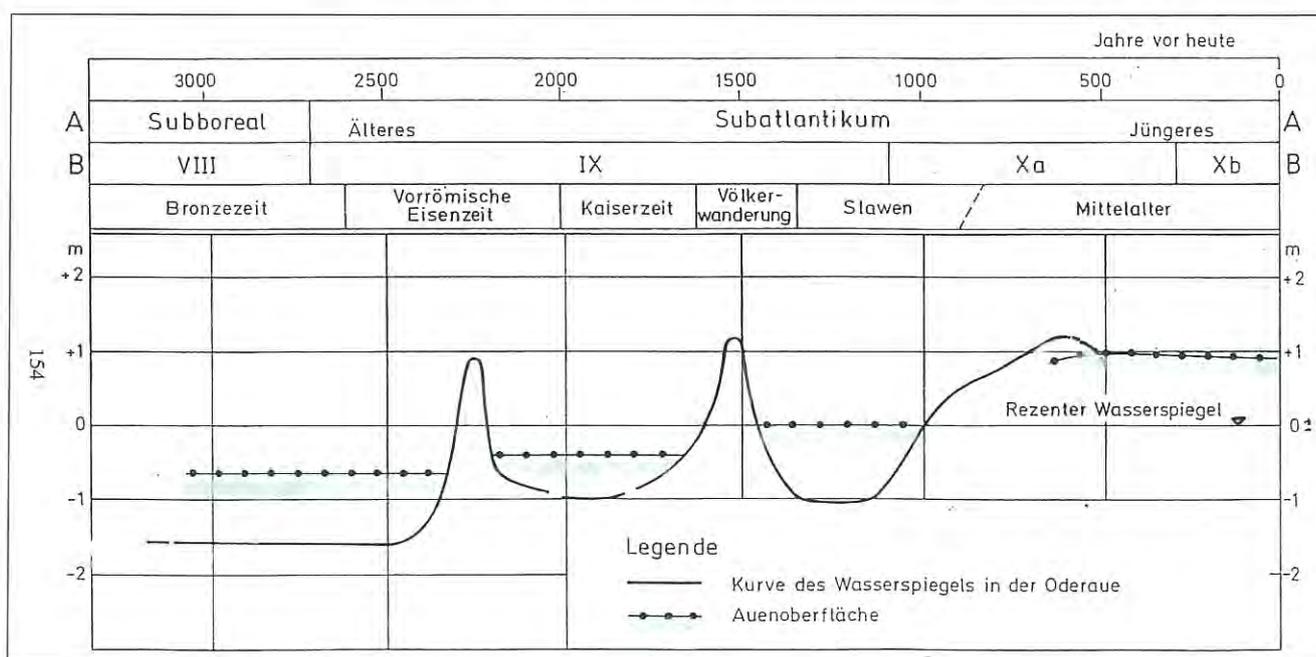


Abb. 7
Kurve der Spiegelschwankungen im unteren Oderlauf

rigwasserständen (NW) um Schwankungen um einen bestimmten Mittelwert, dem Mittelwasserstand (MW) laut hydrologischer Definition handelt. Der Mittelwert im o. a. Sinne ist eine vom Menschen über einen bestimmten Zeitabschnitt ermittelte Größe. Dieser Wert ist über längere Zeiträume vom säkularen Klimagang abhängig und damit nicht so stabil, wie es aus der relativ kurzzeitigen Bestimmung des Wertes hervorzugehen scheint. Die materiellen Hinterlassenschaften der holozänen Laufentwicklung in der Aue u. a. in Gestalt von Sedimentfolgen, Wasserstandsmarken wie Gleyhorizonten, Reduktions- und Oxidationsgrenzen belegen in Verbindung mit archäologischen Datierungen, daß auch der Wert des mittleren Wasserstandes über längere Zeiträume beträchtlich schwankt (BROSE 1988).

Dieser Vorgang trat letztmalig um 1 200 u. Z. auf, womit sich die Lebensverhältnisse für die zu diesem Zeitpunkt die Oderaue besiedelnden Slawen gravierend verschlechterten. Auch die eisenzeitliche Bevölkerung der Oderaue um das Durchbruchstal vor dem Oderbruch, deren Hinterlassenschaften von den Archäologen als Göritz I und II eingestuft wurden, ist gleichsam als Folge des Mittelwasseranstieges um 2 300 BP aus der Aue vertrieben worden, die Reste von Göritz III sind fast ausschließlich außerhalb der Aue in deren Randbereichen zu finden (GRIESA 1974). Ein weiterer Beleg für einen solchen Vorgang sind u. a. die in Randbereichen der Oderaue über slawischen Siedlungsresten abgelagerten Torfe. Die Oberfläche dieser Torfbildungen ist bei Wüstekünersdorf, nördlich Frankfurt/Oder am gegenüberliegenden

Auenrand bei Dzierzazna und weiter flußabwärts bei Schwedt und Gartz mit etwa 1,2 m über dem heutigen Mittelwasser festzustellen. Da Torfbildungen einen längeren Zeitraum mit gleichbleibend hohem Wasserstand benötigen, kann um 800 BP letztmalig ein um etwa 1,2 m höherer Mittelwasserstand als heute angenommen werden. Die dargestellte Schwankung des realen Wasserspiegels um einen Mittelwert auf diese Tatsache angewendet, läßt auf mögliche Hochwasserstände schließen, die weit über denen des Oderhochwassers von 1997 liegen.

5. Schlußbemerkungen

Hochwässer sind aus geologischer Sicht natürliche Prozesse in der Entwicklung eines Flußsystems. Sie werden erst zur Gefahr, wenn der Mensch in ihrem möglichen Einflußbereich Werte akkumuliert. Da eine Anhäufung menschlicher Werte in der Aue jedoch seit vorgeschichtlicher Zeit stattfindet, können die dort vorhandenen Objekte nicht mehr alle aus dem Einflußbereich der Hochwässer entfernt werden. Darum versucht der Mensch, seine Wertobjekte durch künstliche Eingriffe in das Abflußgeschehen zu sichern - er baut Deiche.

Jeder Deich ist ein anthropogener Eingriff in das natürliche Abflußgeschehen und ein Kompromiß zwischen Mensch und Natur, bei dem der Mensch eine Grenze, das Bemessungshochwasser, festlegt. Wie die Untersuchungen für die Laufentwicklung im Holozän erkennen lassen, sind Hochwässer weit über diese Bemessungsmarken hinaus möglich. Die Tatsache, daß Hochwässer auftreten können, welche die vorhandenen Deichbauten sinnlos werden lassen, entbindet nicht von der Pflicht, die Deiche in den angenommenen Grenzen mit höchstmöglicher Sicherheit auszustatten. Dazu gehört die Anpassung der zu unterschiedlichen Zeiten in unterschiedlicher Qualität entstandenen Deichkörper an den heutigen Bemessungsstandard ebenso wie die gründliche ingenieurgeologische Untersuchung des Deichuntergrundes auf geogen bedingte Untergrundschwächen und deren nachfolgende Sanierung. Darüber hinaus sollten alle möglichen Retentionsflächen für Hochwässer wieder nutzbar gemacht werden. Das bedeutet für bestimmte Auenabschnitte die Rückführung zu möglichst naturnaher Nutzung und den Verzicht des Menschen auf weitere Anhäufung menschlicher Werte. Das nächste Hochwasser kommt sicher, nur der Zeitpunkt und seine Höhe sind noch nicht vorauszusagen.

Literatur

- BROSE, F. (1972): Die spätglaziale Laufentwicklung der unteren Oder.- Wiss. Ztschr. E.-M.-A.-Univ. Greifswald, math.-nat.-R., Bd. XXI, 1, S. 59-61, Greifswald. - (1988): Weichselspätglaziale und holozäne Flußgenese im Bereich der norddeutschen Vereisung und ihre Wechselbeziehungen zur Entwicklung der menschlichen Gesellschaft unter besonderer Berücksichtigung der Aue der unteren Oder.- Diss. B, E.-M.-A.-Univ. Greifswald, 147 S., Greifswald.
- BROSE, F. & F. PRÄGER (1979): Fakten und Schlußfolgerungen zur jungpleistozänen Laufentwicklung eines Flußsystems (Oder-Neiße) als Ergebnis wirtschaftsgebundener Objekterkundungen.- Acta Universitatis Nicolai Copernici Torun, Geografia XIV, - Nauki matem.-przyrod., Bd. 46, S. 83-97, Torun.

- DOBRAČKA, E. (1983): Development of the Lower Odra Valley and the Whra-Forest Lowland in the Late-Glacial and the Holocene - Das Jungtertiär und seine Nutzung im Küsten- und Binnentiefland der DDR und der VR Polen, S. 108-117, Gotha.
- DROZDOWSKI, E. (1981): The Evolution of the Lower Vistula River valley between the Chelmino Basin and the Grudziadz Basin.- Symposium „Paleohydrology of the temperate zone“, S. 61-63, Poznan.
- GALON, R. (1971): Über den Verlauf des Gletscherrückganges im Gebiet beiderseits der unteren Oder.- Wiss. Ztschr. E.-M.-A.-Univ. Greifswald, Bd. XX, H. 1/2, S. 5-7, Greifswald.
- GRIESA, S. (1974): Die Göritzer Gruppe und ihre Stellung in der frühen Eisenzeit im Gebiet der unteren und mittleren Oder sowie an der unteren Warta.- Diss., Berlin.
- HÄNDEL, D. (1967): Fluviatiles Holozän im Gebiet der Weißen Elster (Westachsen).- Probleme und Befunde der Holozänstratigraphie in Thüringen, Sachsen und Böhmen. S. 84-87, Berlin/Prag.
- HRABOWSKI, K., JÄGER, K.-D. & U. LIPPERT (1983): Naturräumliches Bebauungspotential und ingenieurgeologische Probleme in einer Wallnetzaue, dargestellt am Beispiel des unteren Oderbruchs.- Das Jungquartär und seine Nutzung im Küsten- und Binnentiefland der DDR und der VR Polen, S. 225-238, Gotha.
- KARCEWSKI, A. (1969): Types and stages of Deglaciation in Areas of the Odra-lobe in Western Pommerania.- Geogr. Polonia, Bd. 17, S. 189-196, Warszawa.
- KOZARSKI, S. (1983): The Holocene generation of paleomeanders in the Warta River valley, Great Polish Lowland.- Geol. Jahrb. A 17, S. 109-118, Hannover.
- KUPRIANOW & SHIKLOMANOW (1980): Methodology for Investigation of effects.- General Report for Topic 1.1 of the Helsinki-Symposium, UNESCO, Helsinki.
- MARCINEK, J. (1968): Entwicklungsphasen eines Gewässernetzes. Das Flußnetz im Nordostraum der DDR.- Wiss. u. Fortschritt, S. 464-467, Berlin.

Mitteilung aus dem Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg No. 112

Anschrift des Autors:

Dr. habil. Fritz Brose

Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg
Stahnsdorfer Damm 77
14532 Kleinmachnow

GR1 Gamma-Ray V= 2.0 m/min 1 API= 0.15 cps Sonde: GS22 Nr.: 401	GR2 Gamma-Ray Belegmessung V= 2.0 m/min 1 API= 0.15 cps Sonde: GS22 Nr.: 401	TG Bindiger Anteil in der Gesteins- matrix aus GR V= 2.0 m/min Sonde: GS22 Nr.: 401	GG1 Gamma-Gamma V= 2.0 m/min Sonde: GGS22 Nr.: 401 L= 40 cm Q.: CS Nr.: 1-10	GG2 Gamma-Gamma Belegmessung V= 2.0 m/min Sonde: GGS22 Nr.: 401 L= 40 cm Q.: CS Nr.: 1-10	NN1 Neutron-Neutron V= 2.0 m/min 1 cps= 1.00 cps Sonde: NNS22 Nr.: 401 L= 35 cm Q.: CF Nr.: 1-01	NN2 Neutron-Neutron Belegmessung V= 2.0 m/min 1 cps= 1.00 cps Sonde: NNS22 Nr.: 401 L= 35 cm Q.: CF Nr.: 1-01	DICHTE Naturliche Rohdichte aus GG-Messung V= 2.0 m/min Sonde: GGS22 Nr.: 401 L= 40 cm	POR Porositat aus GG- u. NN-Mess. korrigiert V= 2.0 m/min Sonde: GS22 Nr.: 401	POR Porositat aus GG- u. NN-Mess. korrigiert V= 2.0 m/min Sonde: GS22 Nr.: 401	QC Spitzendruck	PM Mantelreibung	QP Porenwasserdruck	RF Reibungsver- haeltnis
--	--	---	--	--	---	---	---	--	--	---------------------------	----------------------------	-------------------------------	---------------------------------------

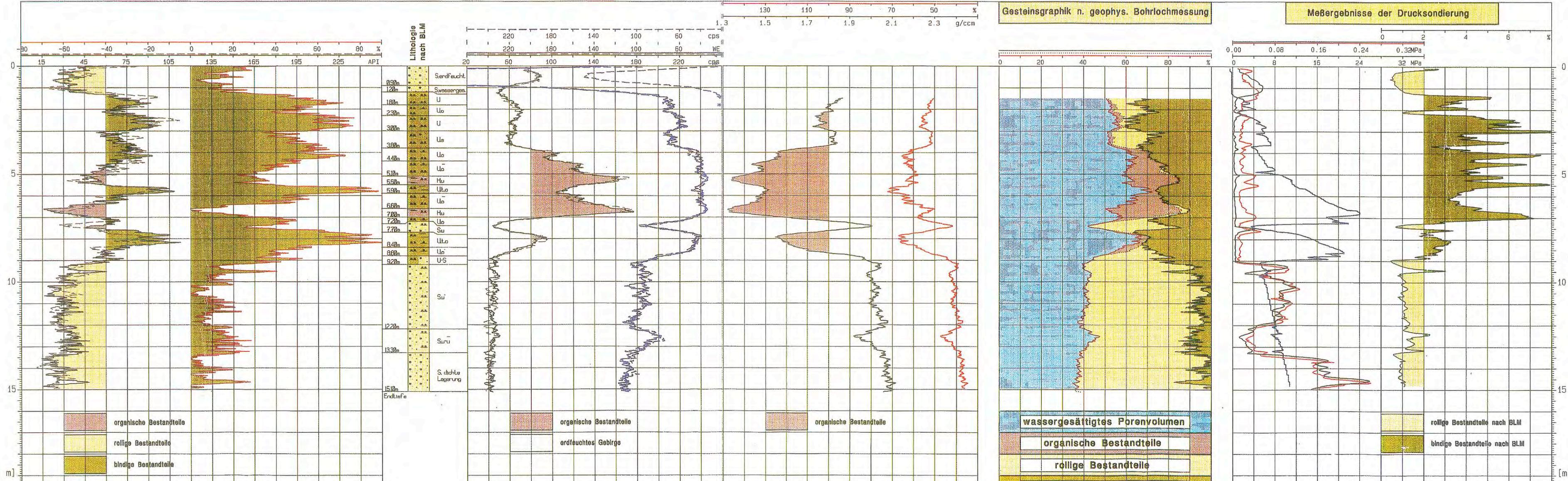


Abb. 3 Gesteinsgraphik, Darstellung der bohrlochgeophysikalischen Meßergebnisse und ihre Interpretation

LANDESAMT

Geologische Übersichtskarte des Landes Brandenburg 1 : 300 000

NORBERT HERMSDORF

76 Jahre nach der seit vielen Jahrzehnten vergriffenen KEILHACK'schen „Geologischen Übersichtskarte der Provinz Brandenburg 1 : 500 000“ in der Herausgabe durch die Preußische Geologische Landesanstalt und 24 Jahre nach der unter Leitung von A. CEPEK erarbeiteten „Geologischen Übersichtskarten der DDR 1 : 500 000“ ist eine neue Geologische Übersichtskarte des Landes Brandenburg 1 : 300 000 vorgelegt worden, die sich, obwohl nicht gleichen Maßstabes, dennoch in der Tradition der genannten Übersichtskarten sieht. Die Karte entstand in enger Zusammenarbeit zwischen dem Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg (geologischer Inhalt) und dem Landesvermessungsamt Brandenburg (kartographisch-technische Realisierung).

Die Wahl des Maßstabes 1 : 300 000 erfolgte aus Gründen der Kongruenz zur amtlichen Topographischen Landeskarte, aber auch aus Gründen der dadurch möglichen höheren Flächenauflösung. Die Abbildung der die Oberfläche aufbauenden Gesteinsserien erfolgte als Inseldarstellung jeweils bis an die Landesgrenze. Einbezogen in die Darstellung wurde das Gebiet des Landes Berlin. Als topographische Grundlage wurde eine vereinfachte Version der einfarbigen Ausgabe der Topographischen Landeskarte 1 : 300 000 (TG 300 LK) verwendet.

Entsprechend ihrem Übersichtscharakter erfolgte die Erarbeitung der Karte als Einschichtdarstellung mit einer allgemeinen Abbildungstiefe bis 2 m. In besonderen Ausnahmen mußte die Abbildungstiefe im Interesse des Gesamtüberblicks geringfügig unterschritten oder auf max. 5 m erweitert werden. Trotz der angestrebten Detailliertheit der Karte konnte auf notwendige Zusammenfassungen und Generalisierungen nicht verzichtet werden. Andererseits mußten die zumeist nur kleinflächig zutagegehenden präquartären Gesteine in ihrer Verbreitung überzeichnet werden, um die Gesamtpalette des brandenburgischen Gesteinsinventars hervorzuheben. Gleiches betraf die quartären „Exoten“, wie z. B. Sedimente der Eem- und Holstein-Warmzeit sowie glazigene Schollen präquartärer Sedimente. Sie wurden auch innerhalb von Stauchungskomplexen, obwohl dazugehörend, separat dargestellt.

Insgesamt vermittelt die Karte einen Überblick über die Vielfalt und regionale Verbreitung der an der Oberfläche anstehenden geologischen Baueinheiten mit ihren unterschiedlichen Gesteinszusammensetzungen, die sich letztendlich zusammenfügen zu dem typischen Erscheinungsbild der brandenburgischen Landschaft. Gleichmaßen gibt sie Erklärungshilfe für den erdgeschichtlichen Werdegang des Landes. Deutlich spiegelt sich das Grundmuster der Oberflächengestalt Brandenburgs wider, welches im wesentlichen von drei Reliefgroßeinheiten bestimmt wird, die das Land von Südosten nach Nordwesten durchziehen und ihre Herausbildung und Formung den Geschehnissen während des Quartärs verdanken. Es sind dies

- der Südliche Landrücken mit Fläming und Niederlausitzer Grenzwall, begrenzt im Süden durch das Lausitzer Tal (Breslau-Magdeburger Urstromtal),
- das breite, aber sehr heterogene Zwischengebiet der sogenannten „Platten und Niederungen“ mit einer Vielzahl größerer und kleinerer, vielgestaltiger Hochflächenareale und dem Durchzug der drei großen Urstromtäler (Bereich der Mittelbrandenburgischen Urstromtäler) und
- der Nördliche oder Baltische Höhenrücken, im Nordosten Brandenburgs, der im wesentlichen die Uckermark umfaßt.

Jede dieser altersverschiedenen Großeinheiten hat, was die naturräumliche Ausgestaltung betrifft, ihre eigene Charakteristik und Entwicklungsgeschichte.

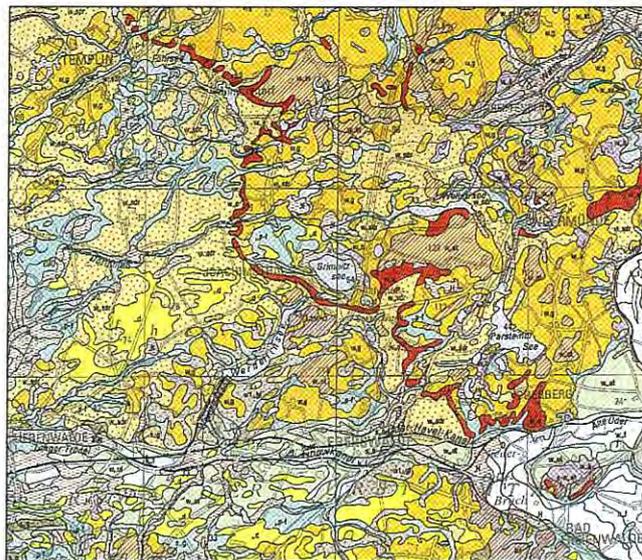


Abb. 1
Geologische Karte des Landes Brandenburg 1 : 300 000 (Ausschnitt)

Der Karte ist auf der Rückseite ein umfangreicher, mit Abbildungen untermetzter Erläuterungstext zur Geschichte der Kartierung in Brandenburg, zum Landschafts- sowie zum geologischen Werdegang und Gesteinsaufbau beigegeben. Der Text ist allgemeinverständlich abgefaßt, so daß die Karte außer bei geologisch Interessierten auch bei Schülern und Studenten auf Interesse stoßen sollte.

Annotation

LIPPSTREU, L; HERMSDORF, N. & A. SONNTAG: Geologische Übersichtskarte des Landes Brandenburg 1 : 300 000. - Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg in Zusammenarbeit mit dem Landesvermessungsamt Brandenburg, Potsdam 1997.

Vertrieb

Die Karte ist über das Landesvermessungsamt Brandenburg, Heinrich-Mann-Allee 103, 14473 Potsdam zum Preis von 30,- DM zu beziehen.

Mitteilung aus dem Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg No. 113

Anschrift des Autors:

Dipl.-Geol. Norbert Hermsdorf
Stahnsdorfer Damm 77
14532 Kleinmachnow

Brandenburgische Geowiss. Beitr.	Kleinmachnow	5 (1998), 1	S. 15 – 22	11 Abb., 2 Lit.
----------------------------------	--------------	-------------	------------	-----------------

Das Oder-Hochwasser 1997 – Verlauf, Deichschäden und Deichverteidigung

HARTMUT NIESCHE & FRANK KRÜGER

1. Einführung

Wohl kein anderes Naturereignis war im Sommer 1997 von so großem Medieninteresse wie das Sommerhochwasser an der Oder. Von einer Jahrhundert- oder gar Jahrtausendflut war die Rede, aber auch von selbstgemachten Problemen durch Flußbegradigungen, Versiegelung der Landschaft und Waldsterben. Dabei war es wohl gar nicht das Naturereignis selbst, das im Mittelpunkt des öffentlichen Interesses stand, sondern der lange, aufopferungsreiche, teils aussichtslose, meist aber doch erfolgreiche Kampf gegen das Wasser und für die Sicherung der Deiche und der dahinter liegenden Ortschaften und Landstriche.

Betroffen waren zunächst unsere südöstlichen Nachbarn: In Tschechien mußten infolge des katastrophalen Hochwassers 48 Tote beklagt werden, in Polen 56. In Tschechien war etwa 40 % des Staatsgebietes vom Hochwasser direkt oder indirekt betroffen. Über 160 000 Menschen mußten in Polen evakuiert werden. Etwa 650 000 ha Land und 1 362 Ortschaften wurden überflutet, einige davon sind heute noch nicht wieder bewohnbar. Besonders katastrophal waren die Schäden in den betroffenen größeren Städten wie Wrocław (Breslau), Opole (Oppeln), Nowa Sól (Neusalz) oder in Zielona Góra (Grünberg).

Demgegenüber ist Deutschland und insbesondere Brandenburg mit einem blauen Auge davongekommen. Zwar ist jedes betroffene Einzelschicksal, jedes durch Überflutung unbewohnbare Haus oder die vernichtete Ernte eine Tragödie für sich, es waren aber keine Menschenleben zu beklagen. In der Ziltendorfer Niederung sind nach den Deichbrüchen 150 Häuser und weitere in den betroffenen Stadtvierteln von Frankfurt/O., in Ratzdorf, Lebus sowie einige Einzelgehöfte und landwirtschaftliche Einrichtungen entlang der Oder überflutet worden. Insgesamt mußten 9 300 Einwohner gefährdeter Gebiete evakuiert werden.

Obwohl der "Supergau" im Oderbruch verhindert werden konnte, belaufen sich die direkten Hochwasserschäden auf ca. 37,2 Mio DM für die Bevölkerung, etwa 31,5 Mio DM für Schäden in der Landwirtschaft, ca. 69 Mio DM für die Instandsetzung kommunaler Straßen und ca. 35 Mio DM für die ersten Reparaturen an den Deichen. Hinzu kommen noch die Kosten für die Deichverteidigung, die nach unvollständigen Erhebungen insgesamt ca. 500 Mio DM betragen.



Abb. 1
Oder-Hochwasser - überflutete Polder nördlich von Schwedt

2. Entstehung und Ablauf des Hochwasserereignisses

Im Juli 1997 bildeten sich in Mitteleuropa zwei kurz aufeinanderfolgende Großwetterlagen aus, die von den Meteorologen als Typ Vb bezeichnet werden. Dabei trifft die durch ein Hoch über Westeuropa und den Britischen Inseln südwärts geführte polare Kaltluft auf feuchtwarme Luftmassen, die ein Tief über Oberitalien nach Norden lenkt. Der Grenzbereich dieser Luftmassen umfaßte im Juli 1997 das gesamte obere Einzugsgebiet der Oder.

Derartige Wetterlagen sind im Juni und Juli relativ häufig. Die dadurch in früheren Jahren bereits mehrfach ausgelösten Hochwässer werden deshalb auch als Johannifluten oder Johannihochwasser bezeichnet. 1997 waren die Luftdruckgegensätze besonders intensiv, infolgedessen in der Zeit vom 03.07. bis 09.07. in den Sudeten und Beskiden, also im Gebiet zwischen Breslau, Kattowitz und Brünn Gebietsniederschläge von mehr als 400 mm fielen. Maxima wurden in der tschechischen Station Lysá Hora (Altwatergebirge) mit 585 mm gemessen (LUA 1997). Diesem ersten Niederschlagsereignis folgte in der Zeit vom 18.07. bis 22.07. ein zweites Schlechtwettergebiet, das ebenfalls aus einer Vb-Wetterlage resultierte. Diesmal fielen die Niederschläge insbesondere über dem Iser- und Riesengebirge, also im oberen Einzugsgebiet von Bober, Lausitzer Neiße und Oder. Die Niederschläge waren mit Werten zwischen 108 und 144 mm zwar nicht ganz so intensiv, sie kamen aufgrund der bereits wassergesättigten Böden aber fast vollständig zum Abfluß. Die

se Niederschläge führten zwar nicht zu neuen Extremwasserständen, haben aber das Hochwasserereignis stark verlängert. Auch im deutschen Einzugsgebiet der Oder fielen am Wochenende vom 19. und 20. Juli Niederschläge von 77 bis 90 mm. Insgesamt kann die gesamte Niederschlagsmenge, die im Odereinzugsgebiet im Juli 1997 fiel und zum Abfluß kam, mit etwa 10 Mrd m³ abgeschätzt werden.

Infolge der ersten Starkniederschläge vom 04. bis 09.07. kam es zu starken Wasserstandsanstiegen und großflächigen Ausuferungen in der oberen Oder und ihren Nebenflüssen, insbesondere der Weistritz, Glatzer Neiße und Katzbach. Am Pegel Miedonia (Oderfurt, km 55,5) wurden am 09.07. bei einem Abfluß von ca. 3 340 m³/s (entspricht einer Abflussspende von fast 500 l s⁻¹ km⁻²) mit 1 045 cm a.P. Wasserstände gemessen, welche die bisherigen Höchstwasserstände um über 2 m übertrafen. Danach wurde die Pegelanlage - wie später noch weitere Pegel unterhalb - weggespült. Eine exakte Wasserstandsbeobachtung und -vorhersage war daraufhin nicht mehr möglich. Bereits zu diesem Zeitpunkt wurde für Brandenburg eine Hochwasserwarnung herausgegeben.

Am 11.07. erreicht die Hochwasserwelle Opole (Oppeln), am 13.07. Wrocław (Breslau) und am 15.07. die Stadt Steinau und führt überall zu katastrophalen Verwüstungen. Die Deiche brechen an mehreren Stellen. Überflutungen weiter Landesteile sind die Folge.

Am 17.07. werden die ersten deutlichen Wasserstandsanstiege im brandenburgischen Oderabschnitt festgestellt. Am Pegel Eisenhüttenstadt (vgl. Abb. 2) werden die bisher gemess-

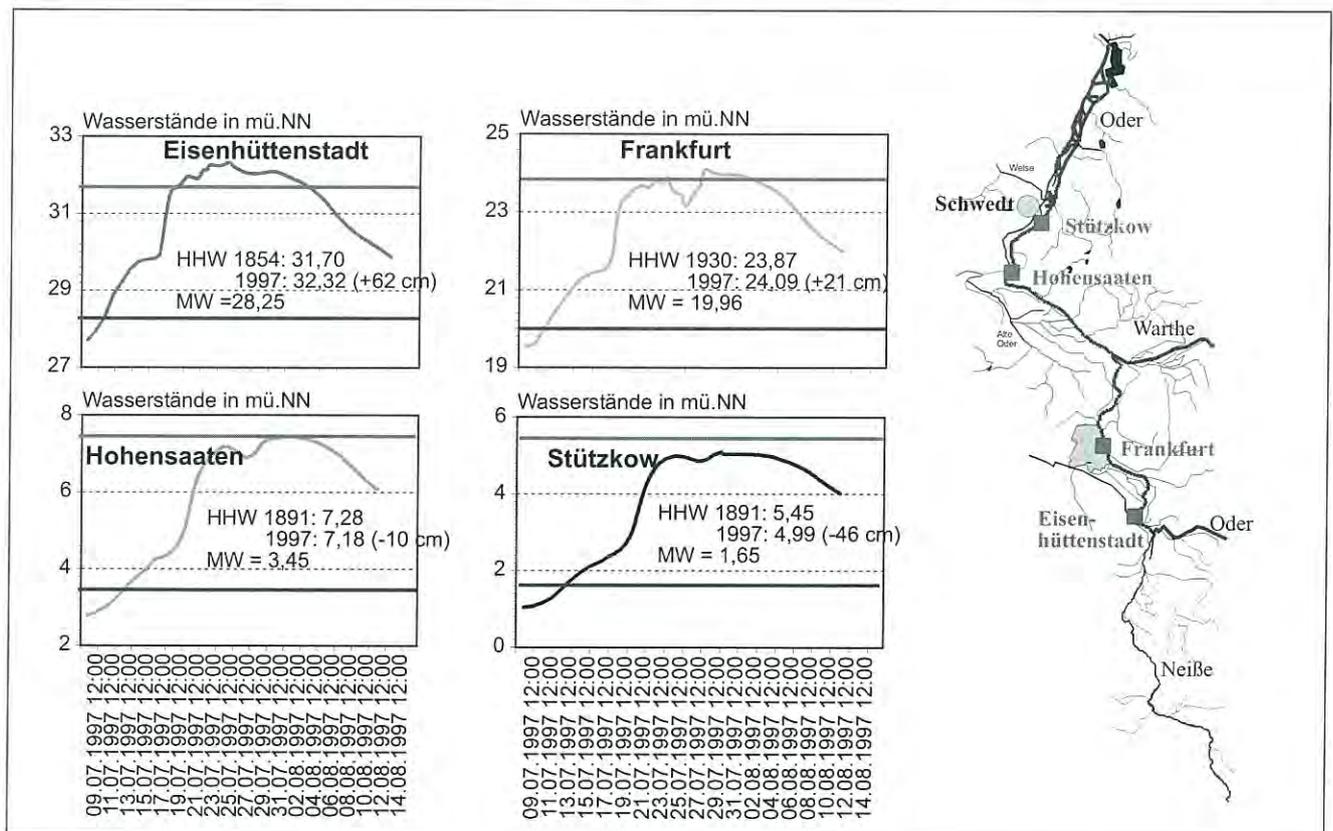


Abb. 2
Wasserstandsganglinie während des Oderhochwassers 1997 für ausgewählte Pegel

senen höchsten Wasserstände (HHW von 1854: 655 cm a.P.) am 19.07. bereits überschritten. Die Alarmstufe IV (Katastrophenalarm) wird ausgerufen. Im weiteren Verlauf steigen die Wasserstände am Pegel Eisenhüttenstadt auf den neuen Rekordstand von 717 cm a.P. und übertreffen die bisherige Höchstmarke um 62 cm. In Ratzdorf muß ein Notdeich aus Sandsäcken aufgebaut werden, um die weitere Überschwemmung des Ortes zu verhindern. Die Sicherheit der Deiche für die Ziltendorfer und Neuzeller Niederung kann nicht mehr garantiert werden, so daß die Evakuierung der Niederungen empfohlen wird. Eine richtige Entscheidung, wie die Deichbrüche in der Ziltendorfer Niederung bei Deichkilometer 18,0 am 23.07. und bei Deichkilometer 8,7 am 24.07. zeigen sollten und infolgedessen es zur Überflutung der Ortschaften Aurith und der Thälmann-Siedlung kam.

Für Frankfurt/O. besteht seit dem 18.07. Katastrophenalarm. Die Oder erreicht mit 634 cm a.P. am 22.07. ihre Höchstmarke von 1930. Die Ufermauer wird überströmt und die südlichen Stadtteile stehen unter Wasser. Am 25.07. bringen die Deichbrüche in der Ziltendorfer Niederung eine kurzfristige Entlastung für Frankfurt - die Wasserstände fallen um 72 cm auf die Pegelmarke von 562 cm. Zwei Tage später, am 27.07., führen die Rückbrüche am Seedeich in Brieskow Finkenherd jedoch zu neuen Höchstwasserständen von 657 cm a.P., so daß die alte Rekordmarke von 1930 um 22 cm überschritten wird.

Im Oderbruch nördlich von Frankfurt wurde bereits am 18.07. die Alarmstufe III ausgerufen und der Deichwachdienst aufgenommen. Die Warthe, die bei mittleren Wasserständen die gleichen Abflüsse wie die Oder mitführt, zeigt sich sehr ruhig und bringt der Oder nur relativ geringe Zuflüsse. Im Warthebruch stehen damit große Retentionskapazitäten zur

Gefahr für die Standsicherheit der Deiche. Böschungsbrüche bei Hohenwutzen und kritische Rißbildungen, die beginnende Böschungsbrüche anzeigten, bei Zollbrücke, Neuranft und Reitwein erfordern die Evakuierung von 4 500 Bewohnern des nördlichen Oderbruches (Gliezener Polders). Die Brüche können unter enormen Anstrengungen verhindert werden.

Die bei Schwedt gelegenen Sommerpolder wurden in Erwartung des Hochwassers bereits am 15.07. geflutet. Die Sommerdeiche werden aber auf der gesamten Länge überströmt und halten diesen Belastungen nicht Stand. Es kommt an insgesamt fünf Stellen zu Deichbrüchen mit einer Gesamtlänge von ca. 700 m.

Erst ab dem 02.08. werden fallende Wasserstände in der Oder festgestellt, die Lage an den Deichen stabilisiert sich. Am 07.08. wird für den Landkreis Oder-Spree und am 12.08. für Märkisch-Oderland die Alarmstufe II ausgerufen. Die Bewohner der gefährdeten Gebiete können allmählich aufatmen. Für die Mitarbeiter der Wasserwirtschaft beginnen die Aufräumarbeiten und Reparaturarbeiten an den Hochwasserschutzanlagen.

3. Deichschäden

Die während des Hochwassers an den insgesamt 167 km langen Deichen eingetreten Schäden lassen sich wie folgt klassifizieren, vgl. Abbildung 3:

- Örtlich auftretende Quellen, zumeist verbunden mit Erdstoffausträgen. Die Quellen traten zumeist am oder in unmittelbarer Nähe des luftseitigen Böschungsfußes auf, seltener in größerer Böschungshöhe; insges. ca. 120.
- Flächenhafter Sickerwasseraustritt im Bereich des binnenseitigen Böschungsfußes, was zu einer Destabilisierung

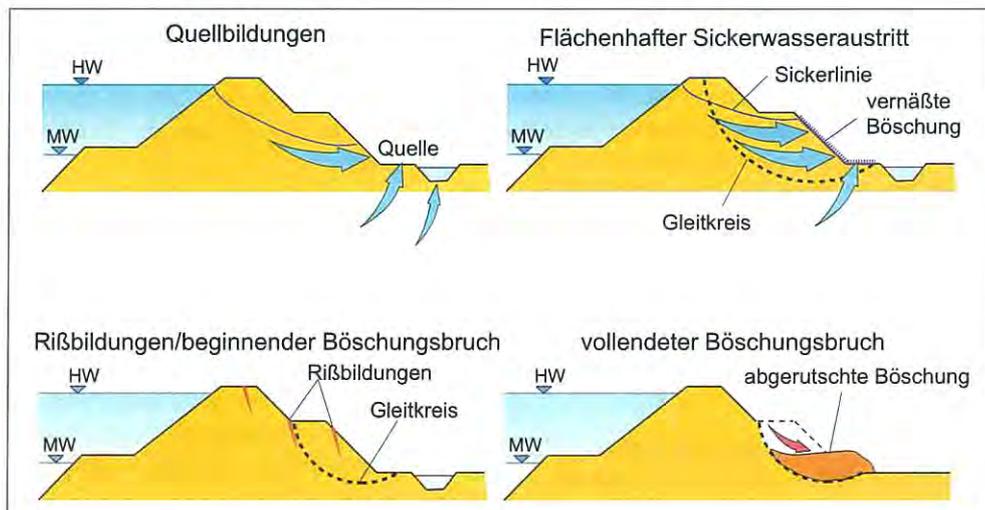


Abb. 3
Schadensbilder an den Deichen

Verfügung, welche die Hochwasserscheitel in der Oder dämpfen, die Hochwasserwelle aber auch verlängern. Die bisherigen rückstaufreien Höchstwasserstände werden am Pegel Hohensaaten mit 729 cm um 17 cm und am Pegel Stützkow mit 1 009 cm um 64 cm überschritten. Im Oderbruch bewirken insbesondere die lang anhaltenden Wasserstände eine

der Böschungen bzw. Bermen führte; insges. auf einer Länge von ca. 18 km. Teilweise trat das Sickerwasser flächenhaft auch oberhalb des Deichverteidigungsweges aus und überströmte die befestigten Wege.

- Böschungsbrüche der binnenseitigen Böschung in unterschiedlichen Stadien und Formen:

- flächenhafte Böschungsrutschungen, die teilweise nur die Grasnarbe betrafen oder flach ausgebildet waren; insges. auf einer Länge von ca. 800 m
- Ribbildungen zumeist im Bereich der Berme oder des Deichverteidigungsweges, die auf einen beginnenden Bruch hinwiesen; insges. auf einer Länge von ca. 1000 m
- vollendete Böschungsbrüche mit teilweise um mehrere Meter abgebrochenen Böschungen unter Ausbildung der typischen Gleitkreise, Ausdehnung auf eine Breite von über 100 m und verbunden mit Zugrissen auf der Deichkrone, teils sogar der wasserseitigen Böschung; insges; auf einer Länge von ca. 500 m
- Schäden durch Überströmen, insbesondere bei den auf der gesamten Länge überströmten Sommerdeichen an der unteren Oder
- Deichbrüche mit vollständigem Verlust des Deichkörpers (insges. 10 Brüche auf einer Gesamtlänge von ca. 1,4 km) entweder infolge Überströmens oder Versagens der allgemeinen Standsicherheit

Schäden durch äußere Erosion an den wasserseitigen Böschungen infolge zu großer Fließgeschwindigkeiten wurden nicht festgestellt.

4. Verteidigungsmaßnahmen

Bei der Deichverteidigung und der Notreparatur von Schadstellen haben bis zu 30 000 Mann Bundeswehr und bis zu 15 000 weitere Helfer des Technischen Hilfswerkes, der Deutschen Lebensrettungsgesellschaft, der Polizei, des Bundesgrenzschutzes, Freiwilliger Feuerwehren, Zivilpersonen usw. mitgewirkt. Nur mit diesem ungeheuren Personaleinsatz war es möglich, die nachfolgend aufgelisteten gewaltigen Mengen an Deichverteidigungsmaterial zum Havarieort zu transportieren und dort einzubauen. Benötigt wurden dafür:

- Sandsäcke mit den Standardabmessungen von 30x60 cm und einem Füllgewicht von 10 bis 20 kg. Wurden größere Säcke verwendet, wurden diese nur zum Teil gefüllt. Verbaut wurden ca. 8,8 Mio Sandsäcke mit einem Gesamtgewicht von ca. 130 000 t.
- Faschinen, Länge ca. 3,50 m und $d = ca. 25$ cm. Geliefert wurden in erster Linie Faschinen aus Nadelholzreisig, in einigen Fällen auch Weidenfaschinen mit größeren Längen bis zu 12 m. Benötigt wurden etwa 200 000 Stück Faschinen.
- Sande und Filterkiese
- Geotextilien und Filterfliese, insges. ca. 66 000 m²,
- Folien unterschiedlicher Dicke, insges. ca. 20 000 m²
- Nadelfilteranlagen, ins. ca. 500 lfd. m

Bei der Auswahl der Verteidigungsmaterialien war neben der technischen Eignung auch die sofortige Verfügbarkeit ein ausschlaggebendes Kriterium.

Der Antransport der Materialien zu den Schadstellen erfolgte in erster Linie über die befestigten Deichverteidigungswege. Diese waren aufgrund der Durchfeuchtung des Deiches allerdings für schweren Fahrzeugverkehr nicht mehr geeignet. Zum Einsatz kamen deshalb vorrangig Kleintransporter mit einem Gesamtgewicht bis zu 2 t. Nur

in wenigen Fällen, z. B. am Oder-Spree-Kanal oder im Raum Hohenwutzen, konnten Materialtransporte mit Lastschuten organisiert werden. In besonders kritischen Situationen sind Materialien auch mittels Hubschraubern der Bundeswehr und des Bundesgrenzschutzes antransportiert worden.

Die jeweils angewendeten technischen Lösungen bei der Deichverteidigung richteten sich nach den Schadensbildern und der vermuteten Schadensursache.

4.1. Deicherhöhung

Besonders im Bereich Eisenhüttenstadt wurden die bisherigen Höchstwasserstände deutlich überschritten, vgl. Abschnitt 2. Es bestand an einigen Deichabschnitten aufgrund der nunmehr ungenügenden Freibordhöhe die Gefahr des Überströmens, so daß hier Deicherhöhungen vorgenommen werden mußten. Für die Aufhöhung der Deichkrone wurden Sandsäcke verwendet, die analog einer Ziegelmauer im Verband aufgesetzt worden sind und bei Bedarf mit Folie gedichtet werden können. Eine Deicherhöhung ist nur begrenzt möglich, da aufgeweichte Deiche nicht beliebig durch zusätzliche Auflasten und Wasserdrücke belastbar sind.

In der Ortslage Ratzdorf wurde ein etwa 800 m langer und ca. 1 m hoher Schutzwall aus Sandsäcken aufgeschichtet.

4.2. Quellen

Örtlich auftretende Quellen wurden insbesondere in Verbindung mit einer hoch liegenden Sickerlinie und fehlenden Entwässerungseinrichtungen (Filtern) sowie mit Gängen wühlender Tiere und Wurzeln festgestellt. Der Wasseraustritt selbst ist ungefährlich. Wenn Quellen jedoch mit Erdstoffausträgen verbunden sind, entstehen Höhlräume, die sich schnell vergrößern und die örtliche Standsicherheit der Böschung gefährden. Es besteht die Gefahr des hydraulischen Grundbruches.

Quellen im unmittelbaren Fußbereich der Böschung wurden i.a. mit sogenannten Quellkaden gesichert. Dabei wurde aus Sandsäcken eine ringförmige Verwallung um die Quelle herum aufgebaut, um einen Gegendruck zu erzeugen und somit die Fließgeschwindigkeit und den Erdstoffaustrag zu vermindern (Abb. 4, 5). Nachteilig ausgewirkt haben sich sehr hoch aufgebaute Quellkaden. Der damit erzeugte Wasserdruck führte dann zur Unterläufigkeit der Verwallung oder zum Aufbrechen neuer Quellen neben der alten Kade.

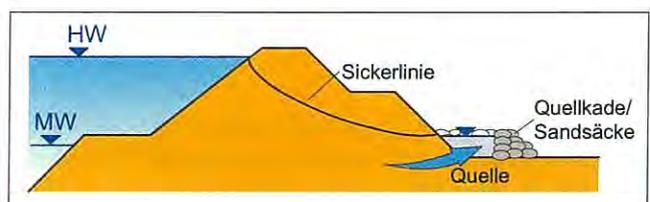


Abb. 4
Sicherung lokaler Wasseraustritte mittels Quellkaden



Abb. 5
Quellkade, Deich-km 59

4.3. Flächenhafte Sickerwasseraustritte

Die flächenhaften Sickerwasseraustritte waren bei den Oderdeichen insbesondere deshalb als kritisch einzuschätzen, da in Verbindung mit den steilen Böschungen und den zum "Fließen" neigenden Schluffen die lokale Stand-sicherheit der Böschung gefährdet war. Auf einer Länge von ca. 18 km mußten deshalb Maßnahmen zur Entwässerung und Stabilisierung der Deichböschungen vorgenommen werden. Mußte nur der Böschungsfuß gesichert werden, wurden teilweise Filterprismen aus groben Kiesen aufgeschüttet. Bei großflächigen Sicherungen waren Pack-lagen aus Sandsäcken auf einem Unterbau aus Faschinen zweckmäßiger. Geotextilien haben sich hierbei als Ent-wässerungselement und zur Sandsackauflage durchweg nicht bewährt.

Eine andere Strategie besteht darin, die Durchsickerung des Deiches zu mindern, indem die wasserseitige Böschung mit einer Folie gedichtet wird (Abb. 6). Auch die Kombination beider Maßnahmen- Stabilisierung und Dichtung - wurde in vielen Fällen angewendet.



Abb. 6
Dichtung eines Deiches mit einer vorgelegten Folie, Oder-Spree-Kanal. Aufnahme bei bereits gesunkenem Wasser-stand.

4.4. Böschungsbrüche

Böschungsbrüche haben sich in einigen Fällen durch Reißbil-dungen auf der Krone, der Berme oder der binnenseitigen Böschung angekündigt (Reitwein, km 4,7 und 5,1, Zollbrük-ke, km 61, 61,2 und 62,0). In anderen Fällen (Hohenwutzen Deich-km 70,4 und 70,5 und Oder-Spree-Kanal, km 1,8) erfolgten die Brüche sehr plötzlich ohne jede Vorwarnung. In diesen Fällen ist unverzügliches Handeln geboten, da ein Nachbrechen der darüberstehenden Böschungen zu erwar-ten ist und in diesem Fall der Deichbruch nicht mehr zu ver-hindern wäre.

Die Verteidigungsstrategie muß darauf orientieren, unter Gewährleistung der Entwässerung einen Stützkeil für die abgerutschte Böschung aufzubauen. Dabei muß zunächst im Bereich des Böschungsfußes eine Druckbank errichtet wer-den, gegen die sich die neue Böschung bzw. der Stützkeil abstützen kann. Als besonders effektiv hat es sich erwiesen, zunächst Stützpfiler aus Sandsäcken aufzubauen und später die dazwischenliegenden Felder entweder mit Kiesschüttun-gen oder mit Sandsäcken aufzufüllen. (s. Abb. 7) Ein die Ent-wässerung sichernder Unterbau, vorzugsweise aus einer Pack-lage Faschinen, ist in jedem Fall erforderlich. Ebenso ist es sinnvoll, die Maßnahmen z.B. mit einer wasserseitigen Dich-tung zu kombinieren.



Abb. 7
Mit Stützpfilern aus Sandsäcken gesicherte Böschung bei Deich-km 87, Lunow-Stolper-Polder

Die Situation an der Bruchstelle bei Hohenwutzen (Deich-km 70,4 bis 70,5) wurde trotz der oben genannten Siche-rungsmaßnahmen immer kritischer: Die Risse auf der Deichkrone verbreiterten und vertieften sich ständig und es war ein stetiges Steigen der Sickerlinie bis auf ein Ni-veau von ca. 30 cm über der binnenseitigen Berme zu be-obachten. In dieser fast hoffnungslosen Lage entschloß man sich als letzten Ausweg für den Einsatz von Nadelfil-teranlagen, um mittels Vakuumentwässerung die Sickerli-nie zu senken. Wohl wissend, daß mit dem Einspülen der Lanzen und der Zunahme der Sickerwasserströmungsgra-dienten ein Risiko verbunden ist, wurde das Verfahren zunächst an einem ungefährdeten Deichabschnitt erprobt. Der Betrieb der Entwässerungsanlage an der Bruchstelle

zeigte sehr kurzfristig Wirkungen. In den Beobachtungsrohren konnte ein Absinken des Wasserstandes um bis zu 2 m festgestellt werden. Die in Abbildung 8 erkennbaren, stark wasserführenden und erosionsgefährdeten Sand-

schichten fielen trocken. Die Belastung des Deiches konnte gemindert werden und hat im Zusammenwirken mit den übrigen Verteidigungsmaßnahmen zu einer Stabilisierung der Standfestigkeit geführt.

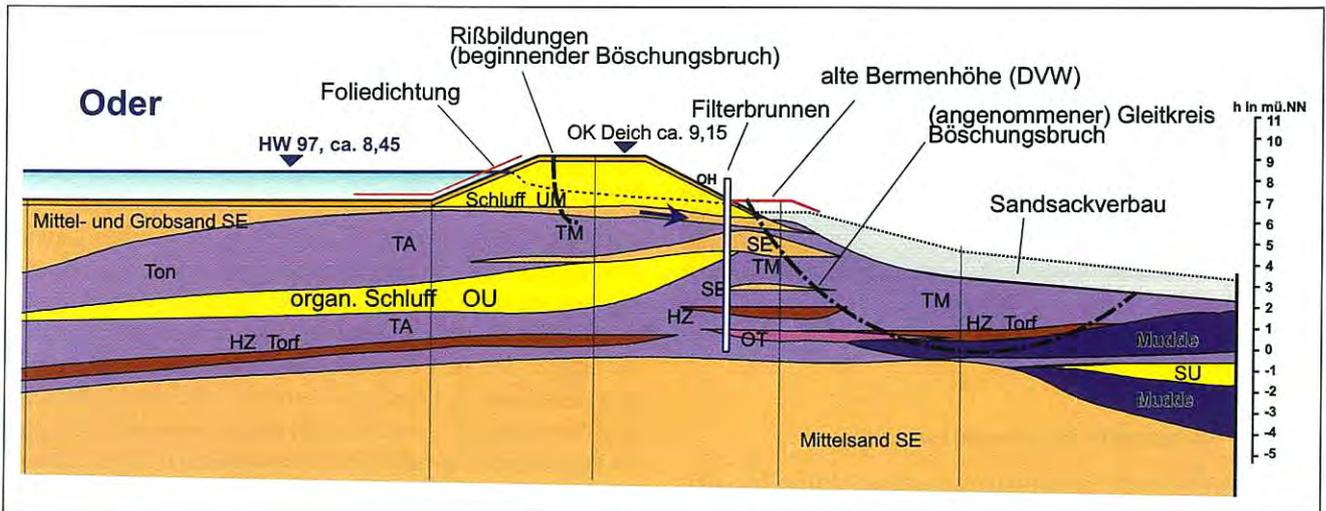


Abb. 8

Querschnitt des Oderdeiches bei Deichkilometer 70,5 (Hohenwutzen) – Schadensbild und Verteidigungsmaßnahmen



4.5. Deichbrüche

Der vollständige plötzliche Bruch eines Deiches hat in der Regel katastrophale Folgen für die dahinterliegende Niederung. (Abb 10) Aufgrund der hohen Fließgeschwindigkeiten in der Bruchstelle sind alle Verteidigungsmaßnahmen und technischen Möglichkeiten erheblich erschwert. Hinzu kommen logistische Schwierigkeiten infolge der normalerweise überfluteten Zuwegungen. Aus diesem Grunde konnten die fünf Deichbrüche an den Sommerdeichen der Schwedter Polder nicht verteidigt werden.

Die Anstrengungen bei den Deichbrüchen in der Ziltendorfer Niederung sind auf die Sicherung der Bruchköpfe gerichtet worden. Mit Hubschraubern wurden Sandsäcke und Netzcontainer mit Bruchsteinen und Betonquadmern antransportiert und in der Bruchstelle versenkt. Die Maßnahmen hatten allerdings keinen Erfolg, da die Fließgeschwindigkeiten zu groß waren und die Bruchstellen sich schneller verbreiterten, als Material antransportiert werden konnte. Ein Schließen der Deichlücken war erst möglich, als die Wasserstände erheblich gesunken waren.

Abb. 9

Gesicherte Böschung bei Hohenwutzen, Deich-km 70,5. Das Foto veranschaulicht, mit welchem immensen Einsatz an Material und Menschenkräften der vollständige Deichbruch verhindert wurde. Die Bezeichnung „Schlacht bei Hohenwutzen“ ist voll gerechtfertigt.

5. Schadensursachen

Die Schäden und Schadensursachen wurden nach Ablauf des Hochwassers sehr intensiv untersucht, auch um den künftigen wasserbaulichen Handlungsbedarf zu ermitteln. Dabei muß verangestellt werden, daß die bisherigen Bemessungswasserstände deutlich überschritten wurden und die Deiche für diese Wasserstände und diese Wasserstandsdauer nie bemessen worden sind.

Allgemein ist festzustellen, daß die Sicherheitsreserven der Deiche bei diesen Wasserständen und diesem Durchfeuchtungsgrad nahezu erschöpft waren. Die allgemeine (rechnerische) Standsicherheit lag in der Nähe des kritischen Gleichgewichtszustandes, sie war aber in der Re-

- aufgrund der zur Binnenseite abnehmenden Durchlässigkeiten die äußere Randstromlinie des durchsickernden Wassers (Sickerlinie) sehr hoch liegt und eine Deichentwässerung (Filter) nicht gewährleistet ist und
- die eingebauten bindigen und schluffigen Erdstoffe unter der Einwirkung des Sickerwassers ihre Scherfestigkeiten (teilweise) verlieren.

Das in Abbildung 8 dargestellte Deichprofil ist das Bruchprofil bei Hohenwutzen, vgl. Abbildung 9. Zu den oben genannten Sachverhalten kommt hier der ungünstige Baugrund im Bereich des binnenseitigen Böschungsfußes hinzu. Die hier anstehenden, sehr tiefgründigen organischen Mudden verlieren unter der Einwirkung des Drängewassers nahezu



Abb. 10

Vollständig zerstörter Deich bei Aurith, Ziltendorfer Niederung, Deich-km 8,7. Der entstandene Kolk hatte eine Fläche von 4,5 ha und eine Tiefe von mehr als 8 m. Das Schließen der 180 m langen Deichlücke war erst nach dem Rückgang des Wasserstandes möglich.

gel noch gegeben. Weitaus größere Probleme ergaben sich mit der örtlichen Standsicherheit insbesondere aufgrund zu steiler Böschungen, fehlender Entwässerungseinrichtungen (Filter) und aufgrund eines ungünstigen Deichaufbaus.

Das prinzipielle Problem wird in Abbildung 11 deutlich: Der Deichaufbau muß als das Ergebnis einer historischen Entwicklung verstanden werden. Die Deiche wurden in den früheren Jahrhunderten mehrfach erhöht und verstärkt. Dabei wurden stets die Materialien eingesetzt, die gerade verfügbar waren. Beispielsweise sind die Ursprünge des Deichprofils im untenstehenden Bild auf das Jahr 1753 zurückzuführen (BERGHAUS 1856). Sukzessive Verstärkungen folgten um 1770 und 1838, wobei aufgrund der örtlichen Verhältnisse stets wasserseitige Vorschüttungen vorgenommen worden sind. Die wasserseitigen Sandaufspülungen (Spülgut aus der Oder) sind bis 1929 durchgeführt worden. Ein solcher Deichaufbau ist mit dem heutigen Erkenntnisstand als sehr ungünstig einzuschätzen, da

vollständig ihre Scherfestigkeit und können der auftretenden Spreizspannung nicht mehr standhalten. Des weiteren zeigt Abbildung 8 mit dem Außenwasserstand korrespondierende Sandschichten, wodurch eine konzentrierte Durchströmung (piping-effekt) des Deiches und erhöhte Potentiale in den angrenzenden bindigen Erdstoffen entstehen, was ebenfalls zu ungünstigen Veränderungen der Konsistenz und zu einem Verlust an Scherfestigkeit führt. Beim Zusammenwirken all dieser ungünstigen Einzelfaktoren kann der Böschungsbruch praktisch nicht mehr verhindert werden.

Hinzu kommt bei den Oderdeichen noch das Fehlen eines Filters und die relativ steilen Böschungen. Oftmals ist also ein ganzer Komplex von ungünstigen Einzelfaktoren als die Schadensursache festzustellen. Auch muß an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, daß solch inhomogener Deichaufbau nur mit sehr großem Aufwand richtig erkundet werden kann und einfache Sondierungen, z. B. mit nur einer Erkundungsbohrung auf der Deichkrone, zu einer völligen Fehleinschätzung der Standsicherheit führen können.

Quellbildungen hatten nur zum Teil ihre Ursache in inneren Erosionen (s. Abb. 3). Bei der Mehrzahl der festgestellten Quellen war ein direkter Zusammenhang mit den Gängen wühlender Tiere (Mäuse, Maulwürfe) oder den Wurzeln von

bereitung der weiteren Maßnahmen besonderes Augenmerk gewidmet werden. Für diese Deichbaumaßnahmen werden in den nächsten Jahren erhebliche finanzielle Mittel benötigt.

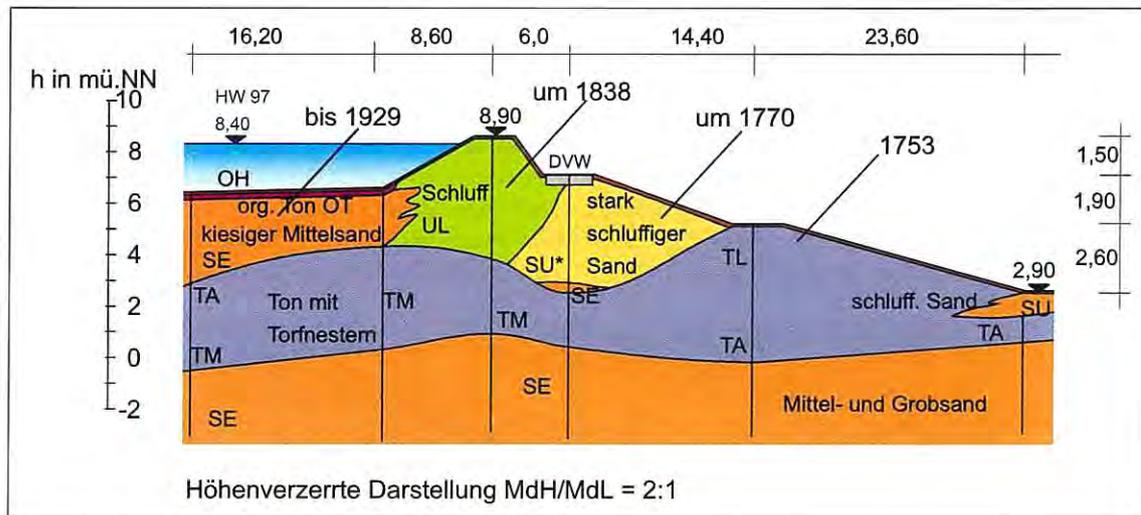


Abb. 11
Querschnitt des Oderdeiches bei Deichkilometer 69,45 (südlich von Hohenwutzen)

Bäumen und Sträuchern in unmittelbarer Nähe des Böschungsfußes festzustellen. Diese Gänge wirken wie Drainagen, sie sammeln das durchsickernde Wasser und führen es konzentriert mit lokalem Austritt ab.

6. Schlußfolgerungen und Ausblick

Das abgelaufene Hochwasser hat wieder einmal deutlich gemacht, daß technische Sicherheiten immer nur relativ sind. Die Menschen in den Poldern werden auch künftig mit einer Hochwassergefahr leben müssen, auch wenn seitens der Wasserwirtschaft alles getan werden wird, um eine Sicherheit nach menschlichem Ermessen und nach ökonomischen Abwägungen (Kosten-Schadenspotential) herzustellen.

Die Anstrengungen unmittelbar nach dem Hochwasser im Herbst 1997 konzentrierten sich auf die Reparatur der Deichbrüche und der Deichabschnitte, die durch Böschungsbrüche besonders schwer geschädigt waren. So wurden bis Ende November ca. 10 km Deiche praktisch neu aufgebaut. Die Kosten beliefen sich auf ca. 35 Mio DM. Die Maßnahmen beschränkten sich nicht auf eine bloße Reparatur, der gewählte neue Deichaufbau entspricht den derzeitigen Regeln der Technik. Es wurden sowohl Böschungsabflachungen vorgenommen, wasserseitige Dichtungen und Filter eingebaut als auch Untergrundverbesserungen durchgeführt. Auf abschnittsweise Deicherhöhungen wurde vorerst verzichtet - diese können erst auf der Grundlage eines Gesamtkonzeptes und internationaler Abstimmungen erfolgen.

Aber auch die anderen Deichabschnitte haben ihre Schwächen gezeigt: ungenügende Freibordhöhe, fehlende Entwässerungseinrichtungen, ungünstiger Baugrund und Deichaufbau. Der detaillierten geotechnischen Erkundung muß in Vor-

Die Hochwasserschutzmaßnahmen auf deutschem Gebiet können nur in Abstimmung mit einem Programm für das gesamte Odereinzugsgebiet langfristig erfolgreich sein. Dabei steht nicht nur der Deichbau, sondern auch die Schaffung neuer Retentionsflächen und Speichermöglichkeiten sowie ein ländertübergreifendes Hochwassermanagement im Mittelpunkt.

Die Bewältigung dieser Aufgaben erfordert das enge Zusammenwirken aller Fachleute.

Literatur

- BERGHAUS, H. (1856): Landbuch der Mark Brandenburg.- Verlag von Adolph Müller, Brandenburg.
FREUDE, M. et al. (1997): Entstehung und Ablauf des Oderhochwassers im Sommer 1997.- 23 S., Zwischenbericht vom 28.08.1997, Landesumweltamt Brandenburg.

Quellennachweis

- Abb. 1 bis 6 und 8, 11: Krüger
Abb. 9, 10: Mausolf

Anschriften der Autoren:

Prof. Dr.-Ing. habil. Hartmut Niesche
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg
Postfach 601164
14411 Potsdam
Dr.-Ing. Frank Krüger
Landesumweltamt Brandenburg
Referat Wasserbau, Gewässergestaltung und Hochwasserschutz
Herbert-Jensch-Straße 38
15234 Frankfurt/O.

Brandenburgische Geowiss. Beitr.	Kleinmachnow	5 (1998), 1	S. 23 – 30	8 Abb., 2 Tab., 2 Lit.
----------------------------------	--------------	-------------	------------	------------------------

Beiträge der Fernerkundung zur Lösung von Umweltproblemen in der Oderregion

HORST WEICHELT & RENÉ GRIESBACH

Auf Initiative der Deutschen Agentur für Raumfahrtangelegenheiten (DARA, jetzt DLR) wurden während des Hochwassers an der Oder im Juli/August 1997 Maßnahmen ergriffen, um das Potential der Fernerkundungstechnologie für das Informationsmanagement bei Hochwasserereignissen bewerten zu können bzw. zu nutzen (DARA-Initiative „ODER-HOCHWASSER“). Insbesondere gehörte zu diesen Maßnahmen die Sammlung und Bereitstellung digitaler Fernerkundungsdaten der betroffenen Gebiete.

1. Satellitendaten

Im folgenden wird eine kurze Zusammenfassung der charakteristischen Merkmale der in Frage kommenden Sensoren gegeben. Listen mit der ausführlichen Datenübersicht enthält eine im Rahmen des o.g. Vorhabens erarbeitete Vorstu-

die (s. unter Literatur). Darin sind, soweit recherchierbar, sämtliche verfügbare Satellitenszenen der hier genannten Sensoren aus dem Einzugsgebiet der Oder für das Jahr 1997 aufgeführt. Tabelle 1 enthält eine Übersicht der im Datenpool des DLR enthaltenen Satellitenfernerkundungsdaten, die vorrangig unmittelbar während des Hochwasserereignisses aufgenommen worden waren und an verschiedenen Stellen, darunter dem uve Fernerkundungszentrum Potsdam, weiterverarbeitet und ausgewertet wurden.

1.1. Landsat-TM

Das amerikanische Fernerkundungssatellitensystem Landsat-TM (Thematic Mapper) liefert seit 1982 kontinuierlich Daten in 7 Multispektralkanälen mit einer Bodenauflösung von ca. 30m in den VIS-, NIR- und SWIR-Kanälen und 120m im

Tab. 1

Übersicht der im Satellitendatenpool der DARA/DLR enthaltenen Fernerkundungsdaten vom Oder - Hochwasser 1997

Satellit / Sensor	Anzahl Szenen	Aufnahmedatum	Aufgenommenes Gebiet	Bemerkungen
Landsat-TM	1	22.07.97	Oder-Mündung bis Frankfurt/O	wolkenfrei
IRS-1C LISS	1	25.07.97	Oder-Mündung bis Frankfurt/O	stark bewölkt
IRS-1C LISS	1	30.07.97	Warthe und Oder in Polen	stark bewölkt
IRS-1C LISS	1	16.09.97	Oderbruch	
IRS-1C PAN	1	16.09.97	Oderbruch	
MSU-E	1	10.08.97	Oder-Mündung bis Frankfurt/O	
Radarsat (Stand.)	1	20.07.97	Polen bei Wroclaw	
Radarsat (Fine)	2	23.07.97	Oderbruch bis Neißemündung	Daten der BfG
Radarsat (Fine)	3	27.07.97	Szczecin bis Oderbruch	Daten der BfG
Radarsat (Stand.)	3	30.07.97	Gartz bis Neiße	
Radarsat (Fine)	4	02.08.97	Schwedt bis Neiße	
Radarsat (Fine)	2	09.08.97	Hohensaaten bis Eisenhüttenstadt	
Radarsat (Fine)	1	27.08.97	Oderbruch	
Radarsat (Fine)	1	02.09.97	Oder/Neiße Mündung	
ERS-2	1	12.07.97	Opole	
ERS-2	4	15.07.97	Polen	
ERS-2	1	21.07.97	Frankfurt/Oder, Eisenhüttenstadt	
ERS-1	1	05.08.97	Frankfurt/Oder	
ERS-2	1	06.08.97	Frankfurt/Oder, Polen	

Thermal-Infrarot-Kanal. Eine Szene umfaßt dabei eine Fläche von ca. 180 x 180 km². Stereomöglichkeiten sind bei diesem Sensor nicht gegeben. Die für thematische Landanwendungen optimierte Auswahl der Spektralkanäle erlaubt jedoch ein weites Anwendungsspektrum zur Analyse und Interpretation verschiedener thematischer Sachverhalte. Das Einzugsgebiet der Oder wird von den Szenen der Streifen 189 - 192 und der Reihen 24 - 27 vollständig erfaßt.

1.2. SPOT

Das französische Fernerkundungssatellitensystem SPOT liefert seit 1986 routinemäßig Satellitendaten mit einer Szenengröße von 60 x 60 km². Multispektrale Datensätze haben dabei eine Bodenauflösung von ca. 20 m, panchromatische Daten erreichen 10 m. Durch die bei diesem Sensor mögliche Veränderung der Blickrichtung kann ein vorgegebenes Gebiet aus unterschiedlichen Winkeln aufgenommen werden, wodurch sich prinzipiell die Möglichkeit der Gewinnung von Stereodaten ergibt. Die daraus ableitbaren Geländehöhen haben jedoch nur eine Genauigkeit von mehreren Metern.

Das Oder-Einzugsgebiet einschließlich der Nebenflüsse wird von den Szenen der Streifen K58 und K61 bis K71 abgedeckt. SPOT-Daten sind nur aus der Zeit vor und nach dem Ereignis verfügbar, Aufnahmen vom Juli bis Mitte August 1997 sind nicht vorhanden.

1.3. IRS-1C

Das indische Fernerkundungssystem liefert seit Sommer 1996 ebenfalls sowohl panchromatische als auch multispektrale Daten gleichzeitig. Die multispektralen Datensätze haben dabei eine Bodenauflösung von ca. 23 m bei einer Szenengröße von 140 x 140 km², die panchromatischen Datensätze erreichen ca. 6 m Bodenauflösung bei einer aufgenommenen Fläche von 70 x 70 km².

1.4. Russische Satellitenfernerkundungsdaten

Aufnahmen russischer Fernerkundungssatelliten vom Hochwasserereignis 1997 an der Oder liegen lediglich vom Multispektralscanner MSU-E vor. Dieses System liefert Daten in drei Spektralkanälen (0,5 - 0,9 µm) mit einer geometrischen Bodenauflösung von 35 - 40 m bei einer Schwadbreite von ca. 40 km.

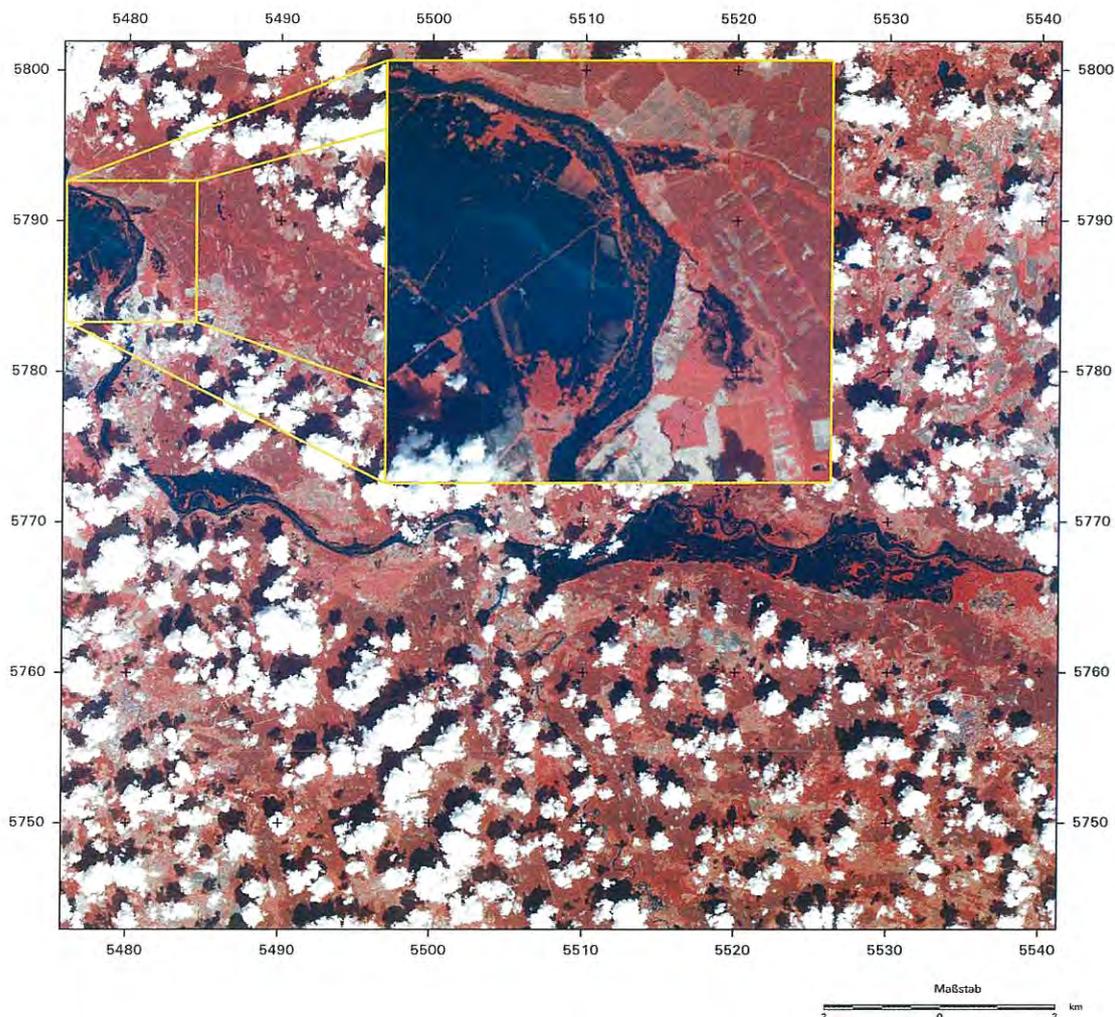


Abb. 1

Oder bei Grosno, Ratzdorf, Aurith (Ausschnittvergrößerung: Dammbreach bei Aurith) Satellitenaufnahme IRS-1C LISS III vom 30.07.1997, Koordinaten: Gauß-Krüger Ellipsoid Bessel

Aufnahmen russischer photographischer Fernerkundungssysteme, insbesondere der hochauflösenden Weltraumkameras KFA-1000 und KWR 1000 sowie der Multispektralkamera MK4 existieren nur aus den Jahren 1991, 1992 und 1995.

1.5. ERS-1/2

Der aktive Mikrowellensensor des ERS-1 liefert SAR-Daten seit 1991. Diese Radaraufnahmen spiegeln insbesondere Materialeigenschaften (elektrische Leitfähigkeit) und Oberflächeneigenschaften (Struktur und Rauigkeit) der aufgenommenen Objekte wider. ERS-2 wurde im April 1995 gestartet und ist technisch mit dem ERS-1 identisch. Die Sensoren arbeiten im C-Band bei einer Wellenlänge von 5,6 cm (5,3 GHz) mit einer vertikalen Polarisation. Die Bodenauflösung der ERS-Satellitendaten liegt bei ca. 30 m, die erfaßte Fläche beträgt 100 x 100 km². Im Unterschied zu den relativ feststehenden Orbits der optischen Satelliten ist für die ERS-1/2 - Satelliten eine permanente Verschiebung der Satellitenbahnen charakteristisch, so daß eine Lageübersicht der einzelnen Szenen in der Form wie beim Landsat-TM oder SPOT nicht möglich ist. Daher erfolgt beim ERS1 und ERS-2 eine fortlaufende Numerierung der Orbits, deren jeweilige Lage dann für die entsprechenden Szenen aus den mitgelieferten Koordinaten entnommen werden muß.

1.6. RADARSAT

Ebenfalls im Mikrowellenbereich arbeitet seit 1996 das kanadische SAR-System RADARSAT. Der grundsätzliche Bildinhalt ist mit dem der ERS-Daten vergleichbar,

Unterschiede ergeben sich durch die andere Polarisation (HH) des RADARSAT im Vergleich zum ERS-1/2 und den flacheren Einstrahlungswinkel. Darüber hinaus hat RADARSAT eine verbesserte Bodenauflösung, die für den Standard-Mode bei ca. 15 m, beim Fine-Mode sogar bei 7 m liegt. Die Größe einer Radarsat-Szene beträgt 100 x 100 km² im Standard-Mode und 50 x 50 km² im Fine-Mode.

Die Abbildungen 1 und 2 zeigen ausgewählte Beispiele für Satellitenfernerkundungsdaten, so den Ausschnitt einer IRS-Szene mit einem Oder-Abschnitt bei Grosno (Polen), wobei am linken Bildrand und in der Ausschnittsvergrößerung noch ein Teil der überfluteten Ziltendorfer Niederung erkennbar ist (Abb. 1). Die Ausschnittsvergrößerung vermittelt einen Eindruck vom Auflösungsvermögen dieser Satellitendaten. Abbildung 3 ist ein Mosaik aus zwei aufeinanderfolgenden RADARSAT-Aufnahmen, bei denen zusätzlich die aus den Daten extrahierten Wasserflächen blau eingefärbt und das Straßennetz auf deutscher Seite in das Bild integriert wurde.

Benutzte Quellen für diese Recherchen:

SPOT Image http://www.spotimage.fr/anglaise/offer/catalogoc_cons.html

Landsat-TM http://www.eurimage.it/einet/einet_home.html

ERS <http://www.earth1.esrin.esa.it:8888/eeo/eeo1.15/eomews2>

GISIS - Recherchesystem des DLR

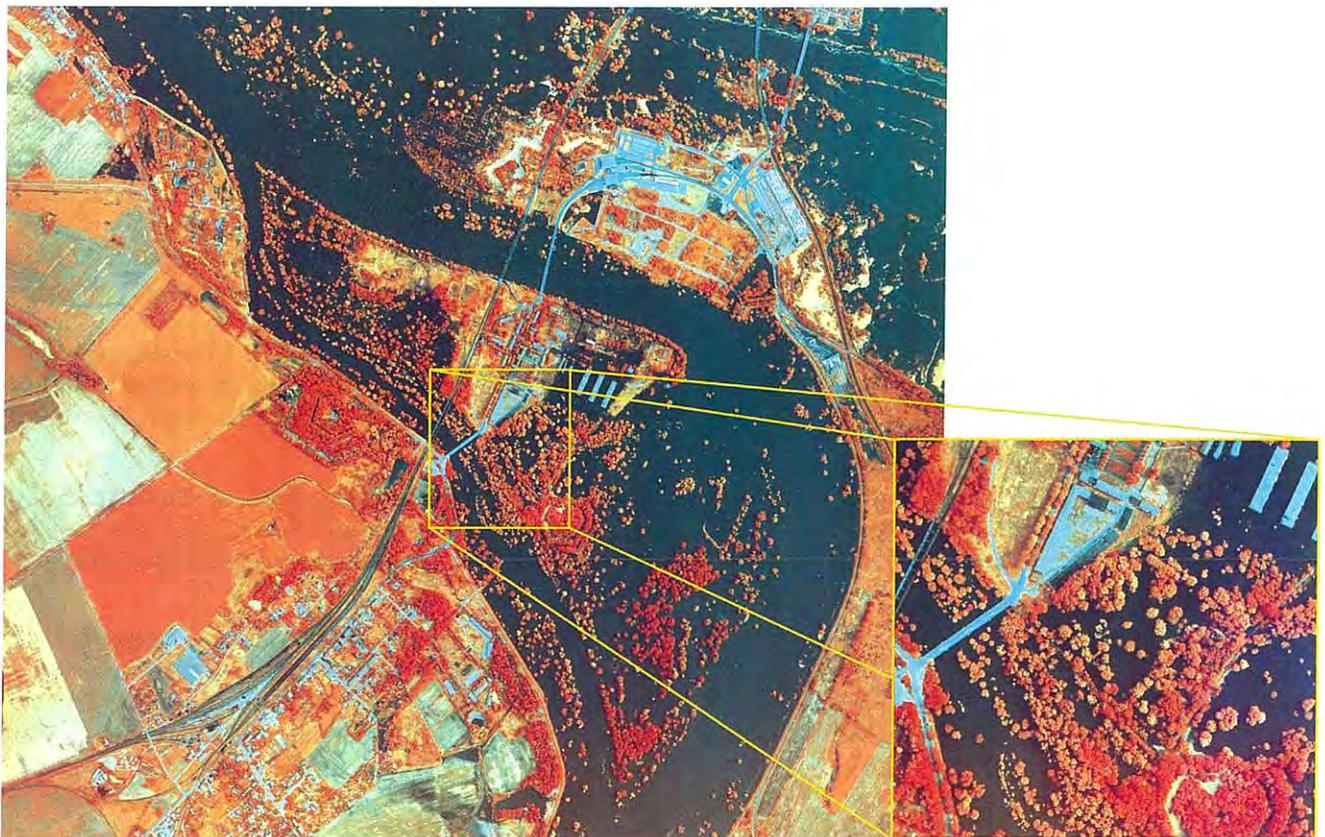


Abb. 2
Oder bei Küstrin mit Ausschnittsvergrößerung. Satellitenaufnahme IRS-1C LISS II vom 30. 07. 1997.

2. Flugzeugfernerkundungsdaten

2.1. Historische Luftbilder

Historische Luftbilder bilden ein wertvolles Basisdatenmaterial und können insbesondere Informationen zum Untergrund und zur Entwicklung bzw. Veränderung von Nutzungsstrukturen liefern. Detaillierte Informationen zu Aufnahmezeitpunkten, Verfügbarkeit und den jeweils aufgenommenen Gebieten sind beim Bundesarchiv, Luftbild-/Kartenarchiv in Berlin, dem Landesvermessungsamt Brandenburg, dem Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg und der Staatsbibliothek zu Berlin / Preußischer Kulturbesitz, Kartenabteilung erhältlich.

Insbesondere sind folgende Luftbilder erfaßt und für thematische Arbeiten verwendbar:

- Reichsluftbilder: Die Reichsluftbilder sind Luftbildkarten im Maßstab 1 : 25 000 in den Nomenklaturen der Meßtischblätter TK25.

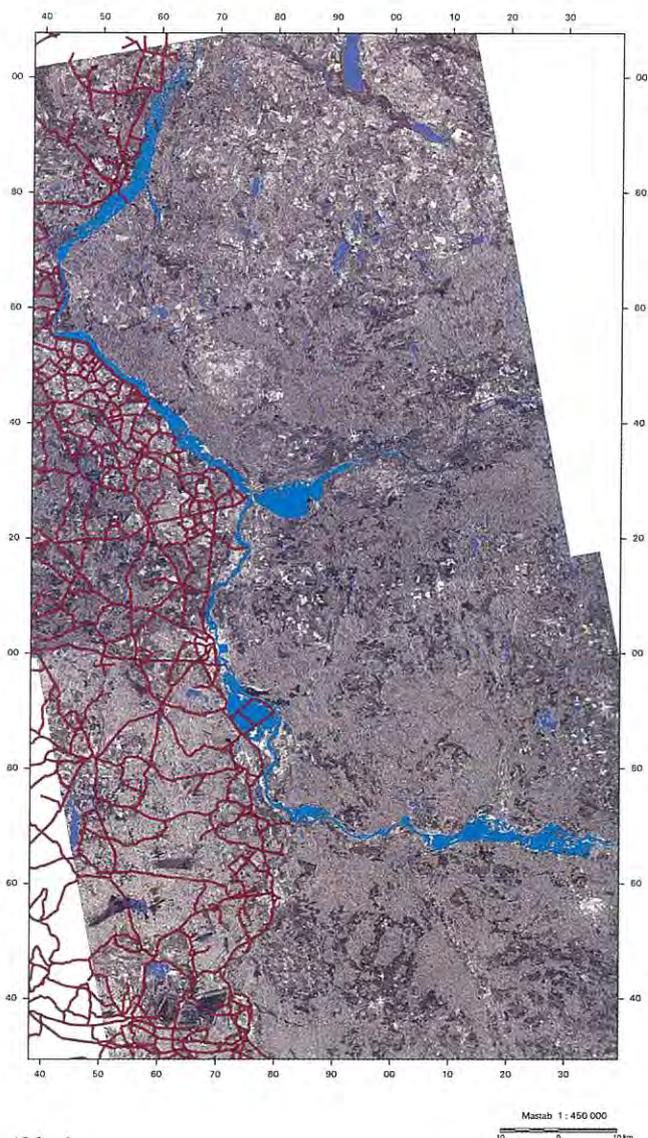


Abb. 3
RADARSAT-Aufnahme (Standard-Mode) vom 30. 07. 1997
Extrahierte Wasserflächen: blau
Straßennetz Brandenburg: rot

- Kriegsluftbilder II. Weltkrieg: Es handelt sich dabei in der Regel um Luftbilder der deutschen Luftaufklärung, die den Frontverlauf von Februar bis April 1945 im Odergebiet dokumentieren. Amerikanische Luftbilder entstanden bei/nach taktischen Luftangriffen auf Verkehrsknotenpunkte und auf die Ö raffinerie Küstrin sowie zu Ende des Krieges in sehr kleinen Maßstäben zur Übersicht über das von den russischen und polnischen Truppen besetzte Gelände.
- Nachkriegsluftbilder 1953: Die Luftbilder wurden von den damaligen sowjetischen Luftstreitkräften aufgenommen. Der Bildmaßstab beträgt 1 : 22 000, das Bildformat mißt 30 x 30 cm², die Kammerkonstante ist etwa 200 mm und die Längs- und Querüberdeckung sind 70 und 30 Prozent. Die Zuordnung erfolgt in den Nomenklaturen der Topographischen Karte der ehemaligen DDR, Staatliche Ausgabe (AS).
- Luftbilder aus dem Zeitraum 1961/65 bis 1975/80: Bei diesen Luftbildern handelt es sich um topographische Luftbilder in den Maßstäben, 1 : 10 000, 1 : 12 500 und 1 : 18 000. Das polnische Territorium und militärische Objekte sind abgedeckt, insbesondere ab 1965/66.
- Luftbilder aus dem Zeitraum 1981 bis 1997: Das Landesvermessungsamt Brandenburg hat den Bestand an Luftbildern von 1981 bis 1989 von der Berliner Spezialflug GmbH (BSF), Nachfolger der INTERFLUG, übernommen. Dieser Bestand ist flächendeckend für das Odergebiet vorhanden und ist in den Nomenklaturen der TK100 und TK50, staatliche Ausgabe der ehemaligen DDR, auf Flugübersichten registriert. Militärische Sperrgebiete und die polnische Seite wurden auf den Luftbildern abgedeckt.

2.2. Befliegungen während des Oder-Hochwassers

Neben anderen von verschiedenen Auftraggebern veranlaßten Luftbildflügen (vgl. z.B. SCHULZ 1987) wurden auch mehrere Befliegungen des Oder-Hochwassergebietes im Rahmen der DARA-Initiative „ODER-HOCHWASSER“ Ende Juni 1997 initiiert, um mit modernen Mitteln der Fernerkundung eine maximal mögliche Dokumentation des Hochwasserereignisses für wissenschaftliche Untersuchungen zur Ableitung zukünftiger Präventivmaßnahmen zu sichern. Dabei wurden Luftaufnahmen des gesamten Grenz-Oderverlaufes gewonnen.

Unter Leitung und Koordinierung des uve Fernerkundungszentrums Potsdam fanden drei Befliegungen verschiedener Flußabschnitte mit konventionellen und neuartigen Flugzeugfernerkundungssensoren statt.

Die erste Befliegung mit der DPA-Kamera deckte den Bereich Frankfurt/Oder bis Gartz und Teile des Warthe-Rückstaus auf polnischem Territorium ab und fand am 04.08.1997 statt (Abb. 4). Diese digitale Kamera zeichnet drei im Winkel von 25° (in Flugrichtung) zueinander angeordnete panchromatische Kanäle und 4 nadirorientierte Kanäle im roten, grünen, blauen und nahem infraroten Bereich auf. Die panchromatischen Kanäle dienen zur Gewinnung von Stereobildern des Befliegungsgebietes. Die technischen Daten der Befliegung enthält Tabelle 2.

Tab. 2

Übersicht ausgewählter technischer Parameter von Flugzeugfernerkundungssensoren, die während des Oder - Hochwasser 1997 zum Einsatz kamen.

	DPA	HRSC	Daedalus	RMK
Flughöhe	ca. 2300 m	ca. 3400 m	ca. 3500 m	
Streifenlänge	ca. 140 km	ca. 20 km	ca. 120 km	
Streifenbreite	ca. 3200 m	ca. 700 m	ca. 6500 m	5250 m
Querüberdeckung	30 %	40 %	30 %	13 %
Längsüberdeckung				60 %
Bodenauflösung:				
PAN (Stereo)	0,27 m	0,135 m		
Multispektral	0,55 m	0,135x0,54	8,3 m im Nadir	-
Maßstab				1 : 20 000

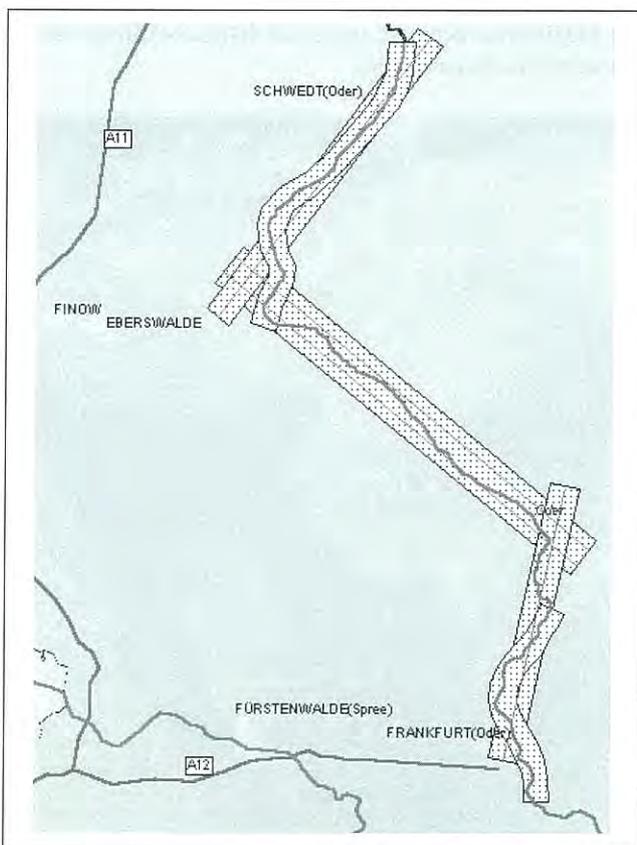


Abb. 4
Lage der von der DPA-Kamera am 04.08.97 aufgenommenen Gebiete

Der Flußlauf im Oderbruch wurde durch zwei parallele Streifen aufgenommen. Große Teile von Flußwindungen, die durch den geradlinigen Verlauf der Flugtrassen nicht erfaßt werden konnten, wurden zusätzlich durch krummlinige Flugtrassen aufgenommen.

Die aufgenommenen Daten werden bei der DASA-LFK GmbH ausgelesen und vorkorrigiert und danach am Institut für Photogrammetrie (ifp) der Universität Stuttgart präzise photogrammetrisch projiziert.

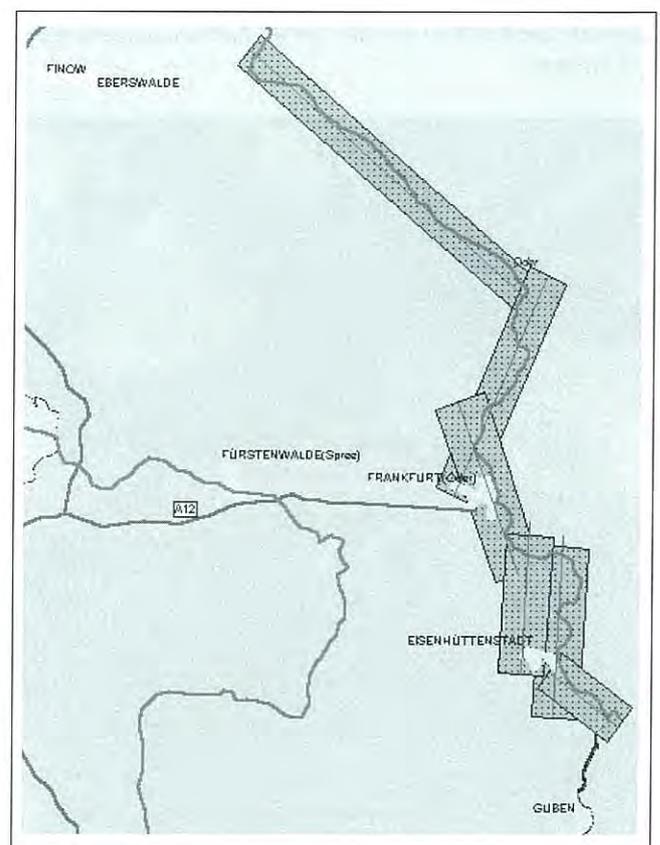


Abb. 5
Lage der vom AMS-Scanner am 08.08.97 aufgenommenen Gebiete

Am 8. August 1997 konnte das Gebiet von der Neiße-Mündung bis Hohensaaten mit einem Flugzeug der DLR flächendeckend befliegen werden (Abb. 5). An Bord befand sich neben einer konventionellen Luftbildkamera der Multispektralscanner AMS Daedalus. Er zeichnet Informationen aus 10 Spektralkanälen mit einer Bodenauflösung von 8,3 m im Nadir auf. Bei einer Flughöhe von ca. 3 500 m ergab sich eine Streifenbreite von ca. 6 500 m. Die parallel eingesetzte Luftbildkamera RMK nahm einen 5 250 m breiten Streifen im Maßstab 1 : 23 000 auf Echtfarbfilm auf. Einen Tag spä-

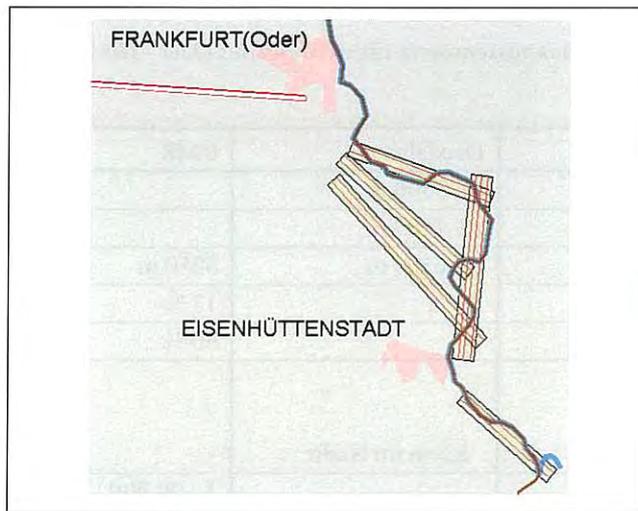


Abb. 6
Lage der am 09.08.97 von der HRSC-Kamera aufgenommenen Gebiete

ter, am 9. August 1997, wurde das Gebiet von der Neiße-Mündung bis Eisenhüttenstadt und Gebiete der Ziltendorfer Niederung mit der hochauflösenden HRSC-Kamera befliegen (Abb. 6).

Dieses digitale System zeichnet ebenfalls panchromatische Daten zur Stereoauswertung und Multispektraldaten in neun Kanälen auf. Aus einer Flughöhe von 3 400 m wurde ein 700 m breiter Streifen mit einer Bodenauflösung von 13,5 cm im panchromatischen Bereich und 54 x 13,5 cm² im multispektralen Bereich erfasst. Die Daten werden vom DLR Berlin, Institut für Planetenerkundung, verarbeitet.

Die bearbeiteten Daten aller Befliegungen sind über das uve Fernerkundungszentrum Potsdam einsehbar und erhältlich. Die Abbildungen 7 und 8 zeigen jeweils ein ausgewähltes Datenbeispiel der DPA, der HRSC-Kamera sowie des Dae-dalus-Multispektralscanners. Weitere Datenbeispiele sowie die Flugübersichten sind unter der Internet-Adresse <http://www.fe.z.uve.de> zu finden.

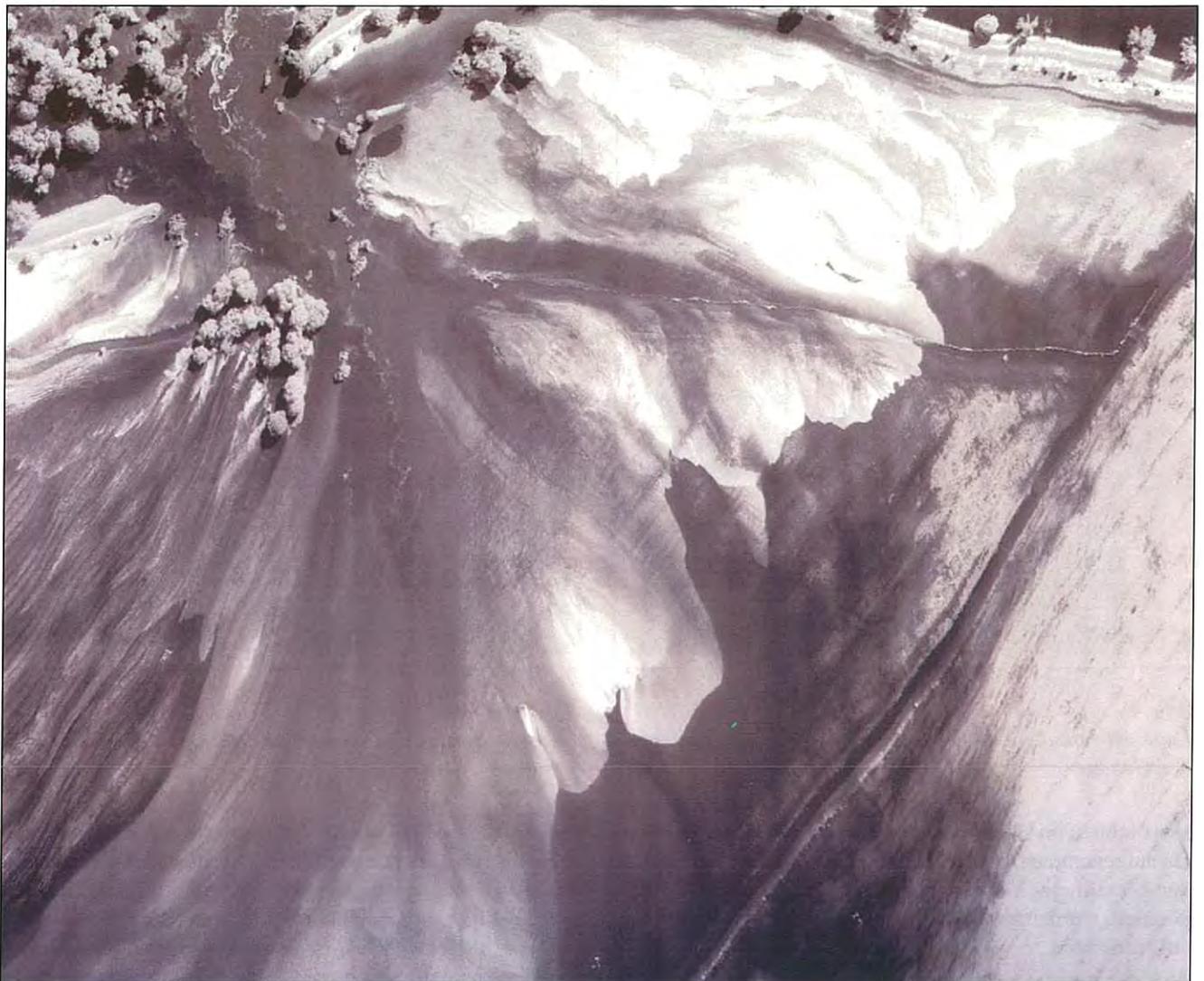


Abb. 7
Deichbruch bei Aurith.
HRSC-Aufnahme vom 09. 08. 1997 (Aufnahmehöhe: 3400 m, Auflösung: 13 cm/pixel, Bearbeitungslevel: Rohdaten)

3. Datenauswertung

Die Anstrengungen während des Hochwassers und unmittelbar danach waren zunächst darauf gerichtet, ein Maximum an aussagefähigen Satelliten- und digitalen Luftbild-daten vom Oder-Hochwasser zu gewinnen und erste Auswertungen dieser Daten durchzuführen. In der jetzt folgenden Arbeitsphase kommt es darauf an, diese Daten koordiniert und intensiv so auszuwerten und einzusetzen, daß ein größtmöglicher Beitrag zu allen im Rahmen des Aktionsplanes Oder zu klärenden Fragen und zu lösenden Aufgaben geleistet wird.

Aus den bisher bekannten Nutzeranforderungen von Fernerkundungsdaten lassen sich vorläufige inhaltliche Arbeitsschwerpunkte ableiten, die auf die Erarbeitung

- von Beiträgen zur Verbesserung der Hochwasservorhersage,
- von Methoden zur schnellen Informationsbereitstellung und zum Daten- und Informationsmanagement im Katastrophenfall sowie
- von Aussagen zu Schwachstellen und Risikopotentialen im Hochwasserschutz für die Oder

unter Nutzung von Fernerkundungsdaten gerichtet sein sollten.

Dabei müssen insbesondere folgende Aspekte und Aufgabenstellungen bearbeitet werden:

(1) Datengrundlage für die Hochwasservorhersage

- Erfassung und Bereitstellung hydrologischer Daten wie hydrologisches Netz im Einzugsgebiet, Abflußdaten, Stofftransport, Bodeneigenschaften, Wasseraufnahmekapazitäten, Flächennutzung
- Schaffung, Verbesserung oder Aktualisierung der topographischen Grundlage für das Oder-Einzugsgebiet, insbesondere der Geländehöhendaten
- Erfassung und Bereitstellung von Daten und Informationen aus dem letzten Hochwasserereignis im Juli/August 1997 an der Oder, dabei in erster Linie überflutete Flächen und Wasser/Land-Grenzlinsen, Wasserspiegellagen und -höhen, Strömungs- und Sedimentfahnenbilder, Vernässungsstellen in Deichnähe und im Hinterland, Schwachstellen im Deich (soweit erkennbar).

(2) Informationsmanagement und Modellentwicklung:

- Entwicklung und Verbesserung von Hochwasser-Vorhersagemodellen für die Oder
- Entwicklung und Verbesserung von Methoden zur Aufbereitung von Fernerkundungsdaten sowie die operative Bereitstellung der abgeleiteten Informationen und Ergebnisse
- Entwicklung und Verbesserung der Informationsbereitstellung und des Informationsaustausches für die Katastrophenvorhersage und das Katastrophenmanagement
- Entwicklung und Aufbau eines GIS „ODER“ auf der Basis der unter Punkt 1 bereitgestellten Daten und der im Punkt 2 entwickelten Modelle und Methoden.

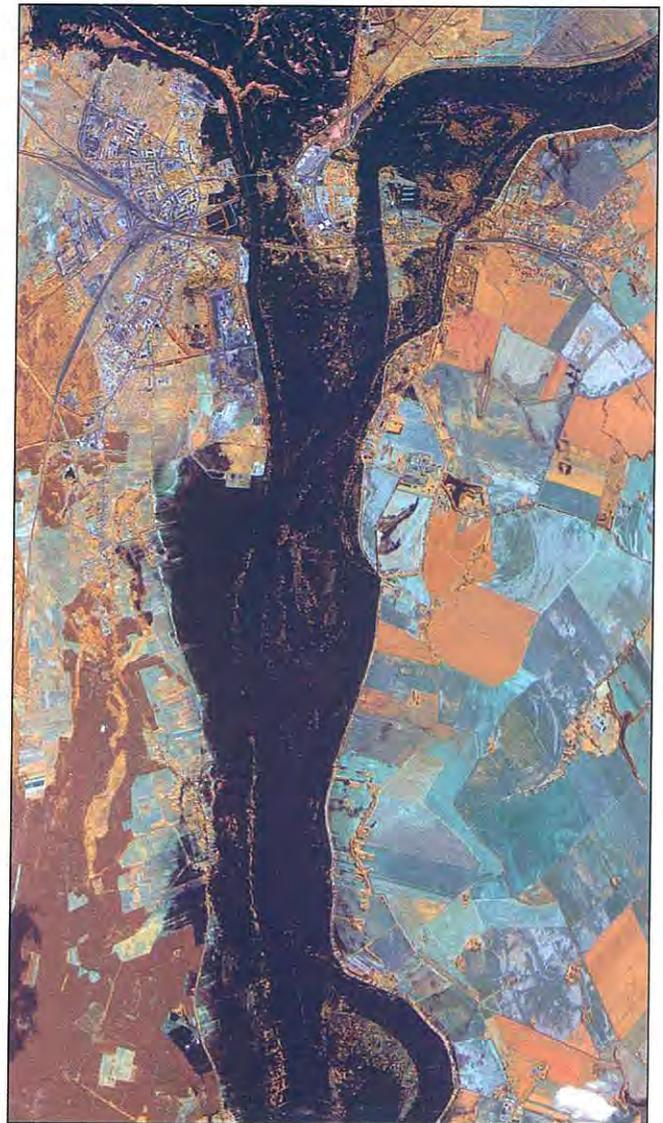


Abb. 8
Oder bei Küstrin, Genschmarer Lose. Aufnahme vom 09. 08. 1997, AMS Daedalus Streifen 6-1, AMS-Kanäle 7, 9, 5 (rot, grün, blau)

(3) Ableitung thematischer Aussagen zu hochwasserrelevanten Fragen

- Ableitung von potentiellen Retentionsflächen
- Flächenbezogene Ableitung von Risikopotentialen für das Überschwemmungsrisiko und für ökologische Risiken (Kontaminationsrisiken)
- Ableitung von Anforderungen an die Hochwasserschutzeinrichtungen (z.B. Deiche) aus den Modell- und Simulationsrechnungen
- Untersuchungen zum Untergrund der Deiche und Ableitung von Aussagen zur Standsicherheit und zu untergrundbedingten Risikopotentialen der Deiche.

Diese vorläufigen Arbeitsschwerpunkte sind auf die konkreten thematischen Anforderungen der Nutzereinrichtungen und Institutionen zu beziehen und ein abgestimmter Themenkatalog zu erarbeiten.

Insgesamt hat die Initiative „Oder-Hochwasser“ der DARA/DLR bewiesen, daß es mit Hilfe von Fernerkundungstechnologien möglich ist, kurzfristig auf derartige Naturereignisse zu reagieren und Daten mit einem hohen Informationsgehalt bereitzustellen. Zukünftig gilt es, diese Möglichkeiten weiter auszubauen und vor allem die Ableitung von für den Katastrophenschutz relevanten Daten und Informationen zu beschleunigen. Durch die Verknüpfung mit terrestrisch gewonnenen Daten und mit Methoden der schnellen Datenkommunikation und raumbezogenen Informationsverarbeitung (GIS) wären damit dann die Voraussetzungen für ein dauerhaftes Monitoring- und Frühwarnsystem geschaffen.

Literatur

Vorstudie für ein Verbundprojekt zur Auswertung und Interpretation der Fernerkundungsdaten des Oder-Hochwassers, Abschlußbericht, uve Fernerkundungszentrum Potsdam. Förderprojekt der DARA/DLR, FKZ 50EE9724. Potsdam, Dezember 1997.

SCHULZ, J. (1997): Hochwasser an der Oder. - PFG 4/97, S. 280-281

Anschrift der Autoren:

Dr. Horst Weichelt, Dipl.-Ing. René Griesbach
 uve Fernerkundungszentrum Potsdam
 Berliner Straße 50
 14467 Potsdam

Redaktioneller Hinweis

Der Vortrag von R. A. DIETRICH (GKSS Geesthacht) „Numerische Modellierung von Sickerwasserströmungen in gesättigten und ungesättigten Deichregionen zur Beurteilung der Standsicherheit von Deichen“ vom 28. 10. 1997 wurde nachträglich an konkreten Daten von Oderdeichen überarbeitet.

Aus technischen Gründen kann dieser Beitrag erst in einem der nächsten Hefte der Brandenburgischen Geowissenschaftlichen Beiträge erscheinen.

Konstruktion und Bemessung von Hochwasserschutzdeichen

JÜRGEN RECHTERN

1. Einleitung

Bei der schweren Sturmflut im Februar 1962 an der deutschen Nordseeküste waren u. a. an den tidebeeinflussten Flüssen Elbe, Weser, Ems und Eider die vorhandenen alten, über Jahrhunderte aus Klei, Sanden und z. T. auch Geschiebeböden häufig sehr inhomogen aufgebauten Deiche mit sehr steilen Böschungen den extremen Beanspruchungen durch das ungewöhnlich hohe Hochwasser, insbesondere bei Überflutung, nicht gewachsen. Es gab zahlreiche Deichbrüche. Für die betroffenen Bundesländer Bremen, Hamburg, Niedersachsen und Schleswig-Holstein ergab sich danach die Notwendigkeit, nicht nur die alten und sehr stark beschädigten Deiche kurzfristig wieder instand zu setzen, sondern diese nach neuen Erkenntnissen entsprechend zu verstärken und zu erhöhen.

Für Hamburg erforderte dieses die Neugestaltung der Hochwasserschutzlinie des öffentlichen Hochwasserschutzes (ASCHENBERG & KROKER 1992) auf rd. 100 km Länge mit rd. 77 km Hochwasserschutzdeichen und rd. 23 km Hochwasserschutzwänden bzw. sonstigen Bauwerken. In diesem Beitrag sollen am Beispiel der in Hamburg gebauten Hochwasserschutzdeiche wesentliche Aspekte der Konstruktion und Bemessung von Deichen an tidebeeinflussten Flüssen aufgezeigt werden.

2. Baugrund und Grundwasser

Eine wesentliche Grundlage für die Konstruktion und Bemessung von Deichen ist die Kenntnis über den unterhalb der Deichaufstandsfläche anstehenden Baugrund und die vorhandenen Grundwasserverhältnisse. Der Baugrund besteht im Hamburger Raum im Niederungsgebiet der Elbe vorwiegend aus holozänen Ablagerungen, bestehend aus organischen Weichschichten wie Klei, Torf, Mudden und Schlick, sowie aus Sanden, die z. T. in Wechselfolge und unterschiedlichen Schichtdicken anstehen (GRUBE 1971, RUCK 1971). Das gewachsene Gelände ist örtlich durch Sand- und Schlickaufspülungen künstlich aufgehöhht worden. Die Schichten des Holozäns werden in der Regel von pleistozänen Sanden größerer Mächtigkeit unterlagert.

Hinsichtlich der hydraulischen Randbedingungen ist der Baugrund in undurchlässigen, gemischt-durchlässigen und durchlässigen Boden (Abb. 1) zu unterscheiden. Das

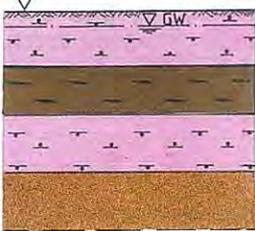
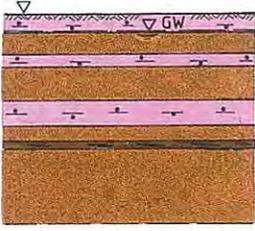
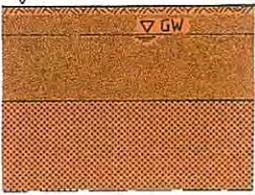
Profil	Wasserdurchlässigkeit
 <p>Klei Torf Klei Sand</p>	undurchlässig
 <p>Wechsellagerung: Klei / Sand Torf Sand</p>	gemischt durchlässig
 <p>Sand, holozän Sand, pleistozän</p>	durchlässig

Abb. 1
Schematisierter Baugrundaufbau

Grundwasser steht, ausgenommen örtliche Stauwasserstände im Bereich von Sandaufspülungen, bei einem mittleren Niveau um rd. NN +1 m, beeinflusst von der binnendeichs vorhandenen Vorflut, meistens nur wenige Dezimeter unterhalb der Geländeoberfläche an. In den Sanden unterhalb und innerhalb der organischen Weichschichten steht das Grundwasser gespannt an, wobei das Druckniveau gedämpft und zeitverzögert den Tidewasserständen in der Elbe folgt. Im Bereich von Hamburg liegt das mittlere Tidehochwasser (MThw) in der Elbe auf etwa NN +2,1 m und das mittlere Tideniedrigwasser auf etwa NN -1,3 m. Das bisher allerhöchste Tidehochwasser (HHThw) wurde im Jahr 1976 auf NN +6,45 m gemessen.

3. Baugrunduntersuchungen

Zur Beurteilung des Baugrundes und der Grundwasserverhältnisse sind Baugrunduntersuchungen gemäß Abbildung 2 erforderlich. Der dazu in der Deichtrasse erforderliche Baugrundaufschluß erfolgt entlang der Deichkrone sowie des außen- und binnenseitigen Deichfußes in einem genügend engen Raster mit einem Abstand der Aufschlußansatzpunkte in Längsrichtung von etwa 50 m - 100 m. Abhängig von der Mächtigkeit der anstehenden organischen Weichschichten beträgt die erforderliche Bohrtiefe etwa 10 m - 15 m, wobei die Bohrendteufe mindestens etwa 2 m bis in die ausreichend tragfähigen holozänen bzw. pleistozänen Sande reicht. Für die organischen Weichschichten wird die Anfangsscherfestigkeit (undräßierte Kohäsion c_u) durch in situ-Flügelsondierungen nach DIN 4096 über die Weichschichtmächtigkeit mit Abscherungen etwa alle 0,5 m ermittelt. Soweit erforderlich werden zur Ermittlung der Lagerungsverhältnisse der anstehenden Sande Druck- oder Rammsondierungen nach DIN 4094 durchgeführt. Einzelne Bohrungen werden zu Grundwassermeßstellen ausgebaut und zur Messung der tideabhängigen Grundwasserstände mit Pegelschreibern ausgestattet.

Für die anstehenden Bodenarten werden die maßgebenden Bodenkennwerte in Laborversuchen an aus den Bohrungen entnommenen Bodenproben ermittelt. An gestört entnommenen Bodenproben (Güteklasse 3 und 4 nach DIN 4021) werden ergänzend zur manuellen und visuellen Beurteilung Versuche zur Klassifikation und Zustandsbeschreibung durchgeführt. Dabei wird insbesondere an Proben aus den organischen Weichschichten der Wassergehalt nach DIN 18121, Teil 1, bestimmt, um auf der Grundlage vorliegender Erfah-

Baugrundaufschluß

- Baugrundsichtung (Bohrungen)
- Lagerungsverhältnisse nichtbindiger Böden (Druck- oder Rammsondierungen)
- Anfangsscherfestigkeit organischer Weichschichten (Flügelsondierungen)
- Grundwasserverhältnisse (Grundwassermeßstellen)

Bestimmung der Bodenkennwerte durch Laborversuche

- Versuche zur Klassifikation und Zustandsbeschreibung, wie
 - Korngrößenverteilung
 - Wassergehalt
 - Glühverlust
 - Fließ- und Ausrollgrenze
- Schwerversuche (φ' , c' , c_u)
- Kompressionsversuche (E_s , c_v)
- Wasserdurchlässigkeitsversuche (k)

Abb. 2
Schema Baugrunduntersuchungen

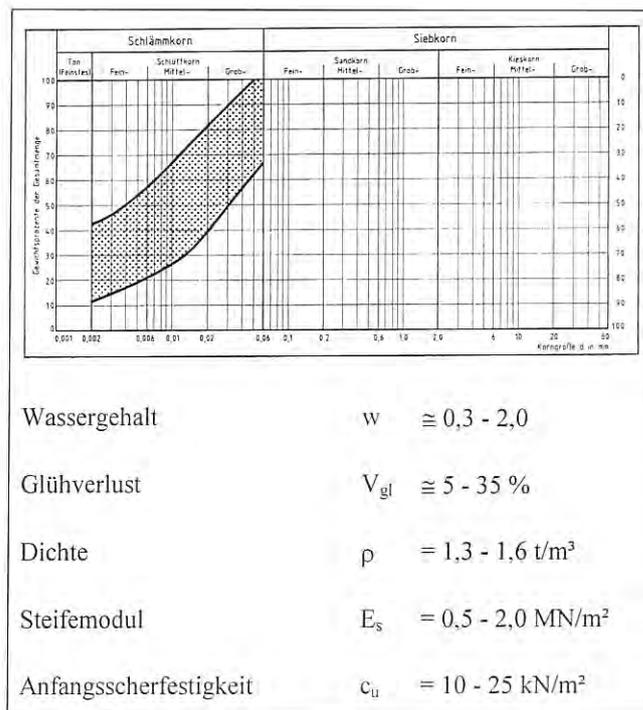


Abb. 3
Bodenkennwerte von Klei

ungswerte die Festigkeits- und Verformungseigenschaften dieser Böden abzuschätzen. Soweit erforderlich werden an weitgehend ungestört entnommenen Bodenproben (Güteklasse 1 nach DIN 4021) Scherversuche zur Bestimmung der effektiven Scherparameter φ' und c' sowie der undräßierten Kohäsion c_u und Kompressionsversuche zur Bestimmung der das Verformungsverhalten beschreibenden Kennwerte Steifemodul E_s und Konsolidierungsbeiwert c_v durchgeführt. Die Versuchsdurchführungen und -auswertungen richten sich nach den einschlägigen DIN-Vorschriften.

Die für den verbreitet anstehenden Klei wesentlichen bodenphysikalischen bzw. bodenmechanischen Kennwerte sind in Abbildung 3 zusammengestellt. Sofern der Klei entsprechende Qualitätsanforderungen erfüllt, wird er als Deichbaustoff (s. Abs. 5) verwendet.

4. Deichprofile

Bis zur Sturmflut im Februar 1962 mit einem bis dahin gemessenen höchsten Wasserstand von NN +5,70 m hatten die vorhandenen Deiche entlang der Elbe eine Kronenhöhe auf etwa NN +5,8 m. Die Kronenbreite betrug etwa 3 m und die Böschungen waren mit etwa 1 : 2 an der Wasserseite und etwa 1 : 1,5 an der Binnenseite sehr steil ausgebildet. Als Deichbaustoff war vorwiegend Klei verwendet worden. Die Deiche sind teilweise über eine Zeit von mehreren Jahrhunderten aufgebaut bzw. immer wieder verstärkt und nach aufgetretenen Deichbrüchen wieder instand gesetzt worden. Dabei sind außer Klei örtlich auch Sand sowie andere organische und bindige Böden wie Mudden, Schlick, Geschiebelehm und -mergel verwendet worden, so daß diese Deiche häufig sehr inhomogen aufgebaut waren.

Nach der Sturmflut im Februar 1962 wurden in Hamburg Deichprofile entwickelt (MEENEN & COUSIN 1964), die für einen seinerzeit festgelegten Bemessungswasserstand von etwa NN +6,7 m mit einer Kronenhöhe auf etwa NN +7,2 m ausreichend überflutungssicher und bei Böschungsneigungen von etwa 1 : 3 an der Wasser- und Binnenseite den Beanspruchungen durch Wellenangriff ausreichend Widerstand bieten. Durch Anordnung einer Deichverteidigungsstraße mit einem Lagerstreifen von insgesamt etwa 9,5 m Breite unmittelbar binnenseitig der Deichkrone ergab sich das in Abbildung 4 dargestellte Deichprofil. Bei der Gestaltung der Deichquerschnitte wurde ferner berücksichtigt, daß entlang der Hochwasser-

etwa 30 m an einen Binnendeichgraben angeschlossen ist, wird die notwendige Vorflut für den Sandkern bei ablaufendem Hochwasser bzw. zu jedem Zeitpunkt erreicht.

Nach neueren Untersuchungen in den 80er Jahren (ASCHEBERG & KROKER 1992) wurde eine Bemessungsturmflut unter Berücksichtigung der Einwirkungen des Windes bzw. der von diesem erzeugten Wellen entwickelt, die für die Deiche entlang der Elbe im Bereich von Hamburg zu Bemessungswasserständen zwischen etwa NN +7,0 m und NN +7,8 m geführt hat. Zur Ermittlung der Sollhöhe eines einzelnen Deichabschnittes werden abhängig von dessen Ausrichtung zum Wind unterschiedliche

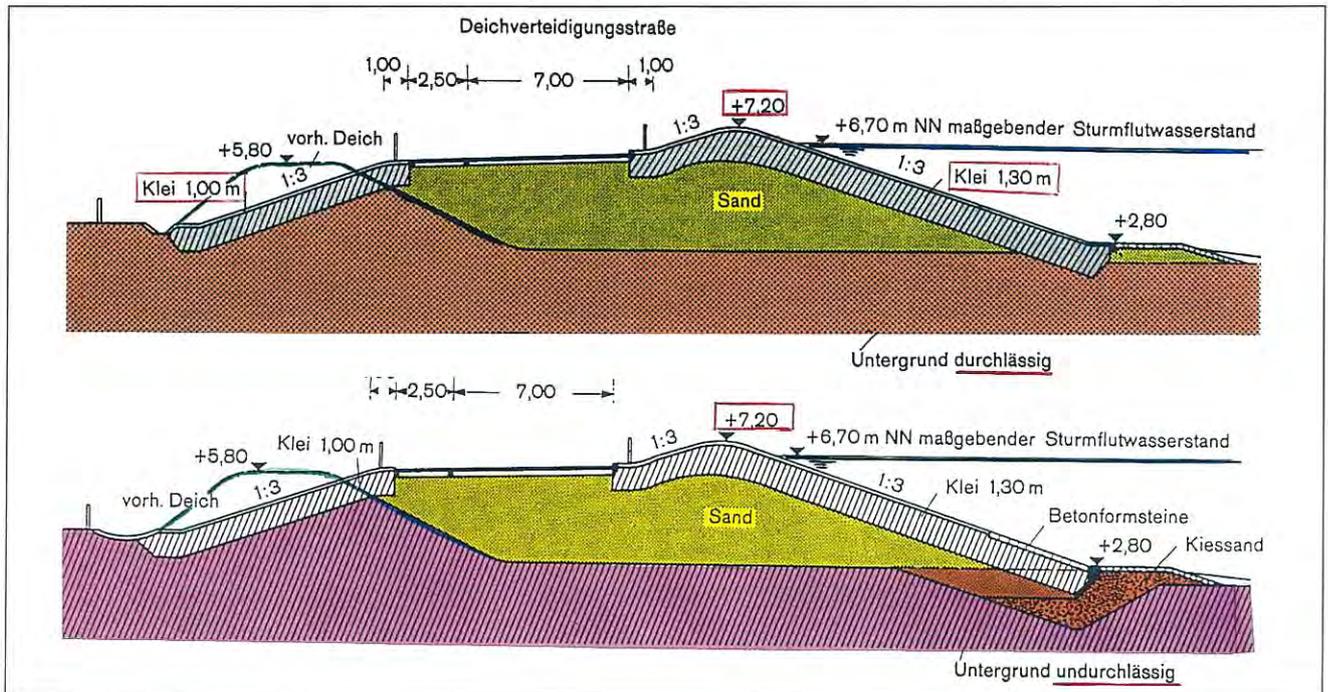


Abb. 4
Hamburger Deichprofile nach 1962

schutzlinie die Gründung der Deiche auf sehr unterschiedlichem Baugrund (s. Abs. 2) erfolgen mußte. Wesentliche Einflußfaktoren waren dabei die große Zusammendrückbarkeit und geringe Scherfestigkeiten der teilweise mächtigen organischen Weichschichten und die unterschiedlichen hydraulischen Randbedingungen. Bei der Wahl der Deichbaumaterialien waren die hohen bodenmechanischen Anforderungen an einen schnell zu errichtenden Deich großer Höhe und die zur Verfügung stehenden Bodenarten zu berücksichtigen. Dieses führte zu der Bauweise von Deichen mit einem Stützkörper aus Sand und einer oberflächigen Abdichtung aus Klei.

Soweit möglich wurden die alten Deiche in die neuen Deiche integriert (s. Abb. 4). Bei einem Deich auf undurchlässigem bzw. gemischt-durchlässigem Baugrund wird durch eine Deichkernentwässerung sichergestellt, daß sich im Stützkörper aus Sand kein unzulässiger Wasserdruck aufbauen kann. Mittels eines am Außendeichfuß angeordneten Fußfilters, wie beispielhaft in Abbildung 4 dargestellt, oder mittels eines Längsfilters im Sandkern, der über Querfilter im Abstand von

Zuschläge erforderlich. Mit diesen ergeben sich erforderliche Kronenhöhen zwischen etwa NN +8,0 m und NN +8,5 m. Zur Anpassung an diese Höhen werden in einem z. Z. laufenden Bauprogramm der Freien und Hansestadt Hamburg die bestehenden Deiche um im Mittel etwa 1,0 m erhöht. Soweit im Zuge dieses Bauprogrammes für aus ökologischen Gründen vorgesehene Deichrückverlegungen ein vollständiger Deichneubau erforderlich ist, wird ein Regelquerschnitt realisiert, wie er beispielhaft in Abbildung 5 für einen Deich auf durchlässigem Untergrund dargestellt ist. Die vielfach nur möglichen wasserseitigen Deichverstärkungen orientieren sich an diesem Regelquerschnitt hinsichtlich der auf der Wasserseite mindestens erforderlichen Kleiabdeckung von etwa 1,5 m Dicke und dem bis auf etwa NN +6,0 m hochgezogenen Deckwerk.

5. Deichbaustoffe

Für den Sandkern des Deiches werden gut verdichtungsfähige Sande SE, SW nach DIN 18196 verwendet. Der als Böschungsabdeckung einzubauende Klei muß die Quali-

tätsanforderungen hinsichtlich Korngrößenverteilung, Glühverlust V_{gl} , Plastizitätszahl I_p und Einbauwassergehalt w gemäß Abbildung 6 erfüllen. Der Klei muß ferner frei von Fremdstoffen, wie z. B. Wurzelreste, Bauschutt oder Holzpfähle sein. Eine Vermischung der Kleies mit Sand ist zu vermeiden.

Der Klei ist lagenweise einzubauen und so zu verdichten, daß eine weitgehend homogene und hohlraumfreie Böschungsabdeckung erzielt wird. Die Einbaudicke ist abhängig von der Tiefenwirkung der eingesetzten Verdichtungsgeräte zu wählen. Wegen der großen Bandbreite der Bodenkennwerte der zum Einbau zur Verfügung stehen-

Die Verdichtungsanforderungen gemäß Abbildung 7 haben daher im wesentlichen das Ziel, eine homogene und hohlraumfreie Böschungsabdeckung herzustellen, die dem Wellenangriff aufgrund ausreichender Dichte und Festigkeit (abhängig von Plastizität und Einbauwassergehalt) des Kleies einen möglichst hohen Erosionswiderstand bildet.

Durch die Begrünung der Kleiabdeckung mit Gras und deren regelmäßige Pflege (z. B. Beweidung durch Schafe) wird der Erosionswiderstand noch erhöht und dauerhaft sichergestellt.

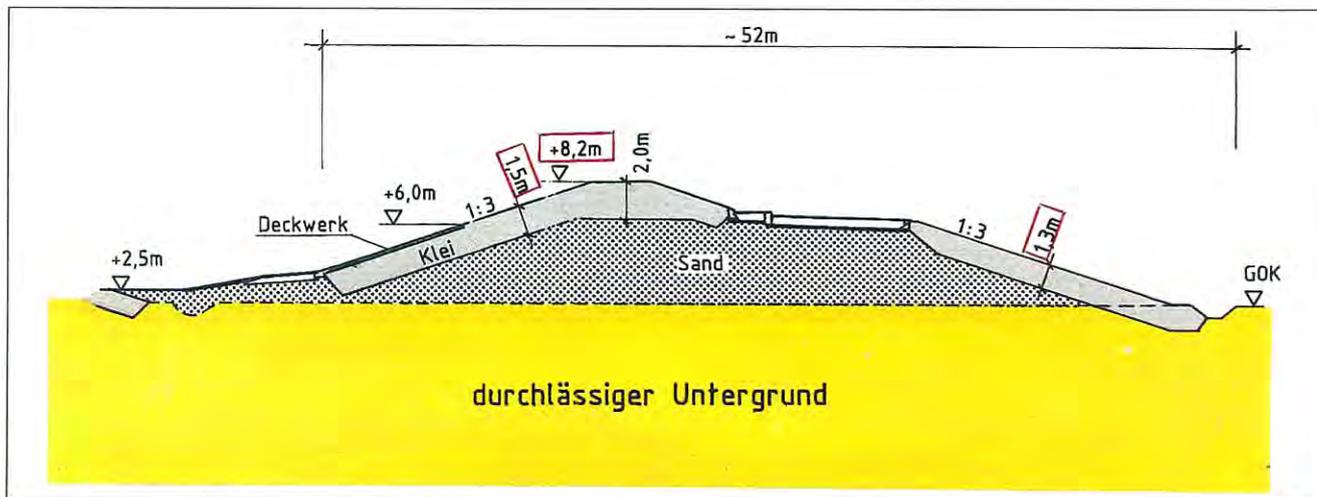


Abb. 5
Regelquerschnitt auf durchlässigem Untergrund

den Kleiböden (s. Abb. 3) lassen sich die Verdichtungsanforderungen nicht durch eine konstante Proctordichte ρ_{pr} bei optimalem Wassergehalt w_{pr} oder einen bestimmten Mindestwert der Trockendichte ρ_d abhängig vom Sättigungsgrad S_r definieren. Dabei ist auch zu berücksichtigen, daß bei den Profilen der heutigen Deiche gemäß Abschnitt 4 mit relativ flachen Böschungsneigungen eine Verdichtung des Kleies aus Standsicherheitsgründen kaum gefordert werden muß.

Sandanteil ($d > 0,06$ mm)	< 40 %
Höherer Sandanteil nur bei I_p	> 0,10
Tonanteil ($d < 0,002$ mm)	> 10 %
	< 40 %
Glühverlust	V_{gl} < 10 % (max. 15 %)
Plastizität optimal $I_p = 0,20 - 0,35$	I_p > 0,10
Einbauwassergehalt	w > 0,20
	< 0,40

Abb. 6
Deichbaustoff Klei – Qualitätsanforderungen

Verdichtungsgrad	
bei $w \approx w_{pr}$	$\rho_d \geq 0,93 \cdot \rho_{pr}$
$w > w_{pr}$	$\rho_d \geq \min \rho_d$ bei $S_r = 0,98$
Einbauschichtdicke	$d \geq 30$ cm
Anzahl Verdichtungsübergänge	$n \geq 3$
Arbeitsplanum mit Gefälle	
Arbeitsunterbrechung bei Regen	

Abb. 7
Deichbaustoff Klei – Verdichtungsanforderungen

6. Standsicherheitsuntersuchungen

Der Nachweis der Standsicherheit eines Deiches erfolgt heute nach vorhandenen verschiedenen Regelwerken (DVWK 1986, EAK 1993 und DIN). Die für den Nachweis der statischen Sicherheit erforderlichen erdstatischen Berechnungen sind in Abbildung 8 angegeben. Für den Nachweis der hydraulischen Sicherheit sind die in Abbildung 9 angegebenen Untersuchungen durchzuführen bzw. sind beim Entwurf entsprechende konstruktive Maßnahmen zu berücksichtigen.

Böschungsbruchberechnung

- Allgemeine Standsicherheit nach DIN 4084 (ggf. nicht kreisförmige Gleitflächen)
- Berücksichtigung Strömungskräfte (Bemessungshochwasser, fallender Wasserspiegel)
- Anfangszustand (c_u) und Endzustand (φ' , c')

Spreizspannungen im Dammlager

- Berechnung nach RENDULIC

Abheben und Abrutschen der Abdeckung

Setzungsberechnungen

- Grundlage für Überhöhung Deichkrone
- Beurteilung der Rißsicherheit (Setzungsunterschiede oder Gewölbefbildungen im Anschluß an Bauwerke)

Abb. 8
Deichstandsicherheit – Nachweis statische Sicherheit

Die im Einzelfall erforderlichen rechnerischen Nachweise sind abhängig von den auf den Deichkörper und Deichuntergrund einwirkenden Beanspruchungen, insbesondere bei einem Hochwasserereignis, festzulegen. Anwendung finden dabei in der Regel die bekannten Berechnungsverfahren der Bodenmechanik, auf die hier verwiesen wird (z. B. RECHTERN 1994).

Erosion der luftseitigen Böschung

- Vermeidung von austretendem Sickerwasser (Böschungsneigung $1 : n \leq 1 : 3$)
- Auflastfilter oder Erosionsschutzfilter

Suffusion, Kontakterosion, Erosionsgrundbruch

- Vermeidung von Kornumlagerungen durch Sickerströmung (kritisch bei hohen hydraulischen Gradienten, ungleichförmiger oder intermittierender Korngrößenverteilung und lockerer Lagerung)
- Einhaltung von Gefällegrenzwerten, z. B. nach ISTOMINA

Hydraulischer Grundbruch bzw. Auftriebssicherheit

- Vermeidung von Quellbildungen landseitig bei oberflächlich dünner Deckschicht
- Druckentlastung am landseitigen Böschungsfuß
- Belastung am landseitigen Böschungsfuß zur Aufnahme des Überdrucks

Abb. 9
Deichstandsicherheit – Nachweis hydraulische Sicherheit

7. Interaktion Standsicherheit - Entwurf und Bau

Die Ergebnisse der Standsicherheitsuntersuchungen gemäß Abschnitt 6 stehen abhängig von den örtlich vorliegenden Untergrundverhältnissen in einer engen Wechselbeziehung zum Deichentwurf und Deichbau. Die verschiedenen Einflußfaktoren gehen aus Abbildung 10 hervor.

Durch die Profilgestaltung mit einer dem maßgebenden Bemessungswasserstand ausreichenden Deichhöhe und den gewählten relativ flachen Böschungsneigungen ist ein hohes Maß an Überflutungssicherheit bei Sturmflut gegeben. Im Einzelfall können auch Maßnahmen zur Untergrundverbesserung (z. B. Bodenaustausch, Konsolidationsbeschleunigung) erforderlich werden. Zu erwartende Setzungen, die sich abhängig von der Mächtigkeit und den Verformungseigenschaften unterhalb der Deichaufstandsfläche anstehender organischer Weichschichten in voller Größe erst über einen langen Zeitraum einstellen, werden

Profilgestaltung

- Böschungsneigungen
- Entwässerungs-/Grundwasserentspannungsmaßnahmen
- Material und Dicke der Böschungsabdeckungen
- Wasserseitiges Deckwerk

Deichbaustoffe

- Eignungsprüfungen
- Verdichtungsanforderungen

Untergrundverbesserung

Deichüberhöhung

Bauablauf

Qualitätskontrollen

- Eigenschaften der Deichbaustoffe
- Verdichtungsprüfungen
- Prüfung der Entwässerungseinrichtungen
- Setzungsmessungen
- Neigungsmessungen

Abb. 10
Einflußfaktoren beim Entwurf und Bau eines Deiches

durch eine entsprechende Deichüberhöhung berücksichtigt. Für den Sandkern und die Kleiabdeckung werden Materialien mit definierten Qualitätsanforderungen verwendet. Die Materialien werden mit geeignetem Gerät eingebaut und nach hohen Anforderungen verdichtet, so daß Eigensetzungen des Deichkörpers bereits weitgehend während der Bauzeit eintreten. Die ausreichende Verdichtung wird durch baubegleitende Verdichtungskontrollen sichergestellt, so daß keine Sicherheitsrisiken im Deichkörper

selber liegen. Ab Baubeginn wird das Setzungsverhalten des Deiches mittels geodätischer Messungen überprüft. Im Einzelfall werden gesonderte Prüfungen (Funktionsfähigkeit von Entwässerungseinrichtungen, Neigungsmessungen) durchgeführt.

Literatur

- ASCHEBERG, H. & G. KROKER (1992): Sturmfluten und Hochwasserschutz in Hamburg. - 64 S., Baubehörde der Freien und Hansestadt Hamburg und Architekten- und Ingenieur-Verein Hamburg e.V., Hamburg.
- GRUBE, F. (1971): Baugeologie der Lockergesteine im weiteren Hamburger Raum. - Grundbautaschenbuch, Band I, Ergänzungsband, S. 109-160, Ernst & Sohn, Berlin.
- MEENEN, K. & B. COUSIN (1964): Untersuchungen zur Profilgestaltung der Hamburger Deiche. - Wasser und Boden 16, S. 258-262, Lindow & Co., Hamburg.
- RECHTERN, J. (1994): Standsicherheit von Deichen. - Berichte aus der Wasserwirtschaft Nr. 2, Berücksichtigung des Naturschutzes beim Deichbau, S. 45-56, Baubehörde Hamburg, Amt für Wasserwirtschaft, Hamburg.
- RUCK, K.-W. (1971): Baugeologie der Lockergesteine im Nord- und Ostseeraum. - Grundbautaschenbuch, Band I, Ergänzungsband, S. 161-217, Ernst & Sohn, Berlin.
- DIN 19712 (1997): Flußdeiche. - 32 S., Beuth, Berlin.
- DVWK Merkblatt 210 (1986): Flußdeiche. - 48 S., Parey, Hamburg.
- EAK (1993): Empfehlungen für die Ausführung von Küstenschutzwerken. - Die Küste, Heft 55, 553 S., Boyens, Heide.

Anschrift des Autors:

Dr.-Ing. Jürgen Rechtern
Grundbauingenieure Steinfeld und Partner GbR
Alte Königstraße 3
22767 Hamburg

Brandenburgische Geowiss. Beitr.	Kleinmachnow	5 (1998), 1	S. 37 – 42	6 Abb., 6 Lit.
----------------------------------	--------------	-------------	------------	----------------

Demonstration einer Standsicherheitsuntersuchung am Oderdeich, Abschnitt „Hohenwutzen“, km 70,4–70,5

NORBERT EHLE & SIEGRID EICHHORN

1. Einleitung

Während der Hochwasserereignisse im Juli/August 1997 an der Oder bestand eine Hauptsorge in der abnehmenden Standsicherheit der Deiche durch die langandauernde Durchfeuchtung. Für die Gesellschaft für bohrlochgeophysikalische und geoökologische Messungen (BLM Storkow) und die FUGRO CONSULT GmbH war das Veranlassung, ein effektives und zuverlässiges Verfahren zur Bestimmung der Dichte und Durchfeuchtung des Deichkörpers anzubieten, das beide Gesellschaften gemeinsam bei der Standsicherheitsuntersuchung von Braunkohlekippen erfolgreich eingesetzt hatten. Bei diesem Verfahren handelt es sich um die Kombination der Drucksondierung mit der radiometrischen Bohrlochmessung. Im Gegensatz zur traditionellen Bohrlochgeophysik wird nicht in einem verrohrten Bohrloch gemessen, sondern das Sondiercasing der Drucksonde wird direkt als Meßrohr hydraulisch in den Boden gepreßt. Im Meßrohr werden Gamma-, Gamma-Gamma- und Neutron-Neutron-Messungen mit einer kleinkalibrigen Meßsonde durchgeführt, auf deren Grundlage eine quantitative Bewertung des Tonmineralanteils, der Rohdichte und des Feuchtegehaltes möglich ist. Der Vorteil der Kombination Drucksondierung und Bohrlochgeophysik besteht darin, daß einerseits keine Beeinflussung des umgebenden Gesteins durch Bohrprozeß oder Bohrmedien erfolgt und andererseits das Risiko eines Quellenverlustes beim Direkteinsatz einer speziellen radioaktiven Drucksondierspitze vermieden wird.

Mit dem Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg MUNR, Abteilung Wasserwirtschaft, wurde eine Demonstrationsuntersuchung mit dem vorgeschlagenen Verfahren zur Deichstandsicherheitsbewertung am Abschnitt Hohenwutzen vereinbart. Bei der Besprechung vor Ort stellte es sich heraus, daß für die Lösung der unmittelbar anstehenden Aufgaben bei der Bewältigung der Hochwasserfolgen nicht so sehr eine Bewertung des Durchfeuchtungsgrades des Deichkörpers im Sinne einer linearen Untersuchung zur Ausgliederung von Schwachstellen gefragt war, sondern die Ermittlung der Ursachen des Versagens der Schutzbauwerke an den bekannten Schwachstellen wie Hohenwutzen, Zollbrücke oder Reitwein mit Hinweisen für deren Sanierung.

Wir haben deshalb mit den Verantwortlichen des MUNR vor Ort ein komplexes geotechnisches Untersuchungsprogramm für diese Aufgabenstellung an einem Querprofil des Deiches abgestimmt, das hier als Fallbeispiel vorgestellt werden soll.

2. Durchgeführte Untersuchungen

2.1. Geländearbeiten

Auf dem Deichabschnitt „Hohenwutzen“, km 70,4-70,5, wurden am 21.08.97 an einem ausgewählten Ost-West-Profil des Deiches folgende Untersuchungen durchgeführt: **Elektrische Drucksondierungen (CPT)** mit FUGRO-Standardsonde (Abb. 1)



Abb. 1

FUGRO-Drucksonde bei der Geländeuntersuchung am Deichabschnitt Hohenwutzen, Foto: N. Ehle

Es wurden vier Drucksondierungen (DS), DS 1 bis DS 4, bis jeweils 15 m abgeteuft, davon zwei DS landseitig und zwei DS flußseitig. Auf der Dammkrone konnte aus Sicherheitsgründen keine DS angesetzt werden. In den Sondierungen wurden Spitzendruck, Mantelreibung und Porenwasserdruck gemessen und als kontinuierliches Profil mit 2 cm Tiefenauflösung dargestellt. Für geophysikalische Bohrlochmessungen wurden an den Ansatzpunkten DS 1 und DS 3 ND 56 mm, Casing, ebenfalls bis 15 m, eingepreßt.

Geophysikalische Bohrlochmessungen

In den Sondierungen DS 1 und DS 3 wurden durch die BLM GmbH, Storkow, geophysikalische Bohrlochmessungen (Gamma-, Gamma-Gamma- und Neutron-Neutron) durchgeführt. Um den Einfluß der Stahlverrohrung zu berücksichtigen, erfolgte in Vorbereitung des bohrlochgeophysikalischen Meßeinsatzes eine Kalibrierung der eingesetzten Sonden in Modellen innerhalb der beim Feldeinsatz verwendeten Drucksondiercasings.

Rammkern- und Rammsondierung

Zur Vervollständigung der geologisch-geotechnischen Informationen auf dem gewählten Profilschnitt wurden auf der Dammkrone jeweils eine handgeführte Rammkernsondierung (RKS), DN 50 mm, bis 8,0 m und eine leichte Rammsondierung DPL 10 (LRS) bis 6,0 m unter Ansatzpunkt durchgeführt, da der Zustand des Deiches den Einsatz der schweren Drucksonde in diesem Bereich nicht erlaubte.

Aus der RKS wurden bei der geologischen Aufnahme gezielt Bodenproben zur bodenmechanischen Charakterisierung und laborativen Analyse des Bodens entnommen. Die Entnahme erfolgte aus den für die Standsicherheitsuntersuchungen relevanten Schichten als Mischproben.

2.2. Laboruntersuchungen

Die Proben aus der RKS sind zur Beschreibung und zur bautechnischen Klassifizierung der anstehenden Gesteine nach DIN 18196 und zur Bestimmung bodenmechanischer Kennwerte im Baugrundlabor auf Korngrößenverteilung, natürlichen Wassergehalt und Konsistenzgrenzen untersucht worden.

2.3. Auswertarbeiten

Die Auswertung der geotechnischen und bohrlochgeophysikalischen in-situ-Meßergebnisse basiert auf einschlägigen DIN-Vorschriften und den betriebsinternen Unterlagen und Erfahrungen der FUGRO CONSULT GmbH sowie der BLM GmbH Storkow.

Die Auswertung der Drucksondiererergebnisse - kontinuierliche Meßwerte von Spitzendruck (q_c), Mantelreibung (f_c) und Porenwasserdruck (P_p) in MN/m² mit einer Auflösung von 2 cm (Abb. 2) erfolgt in mehreren Arbeitsschritten : Das **Reibungsverhältnis** $R_f = f_c / q_c \times 100\%$ wird durch das Drucksondierprogramm automatisch bestimmt und graphisch dargestellt. Das Reibungsverhältnis R_f bildet die Grundlage für die lithologische Interpretation bei der Bestimmung der Bodenarten.

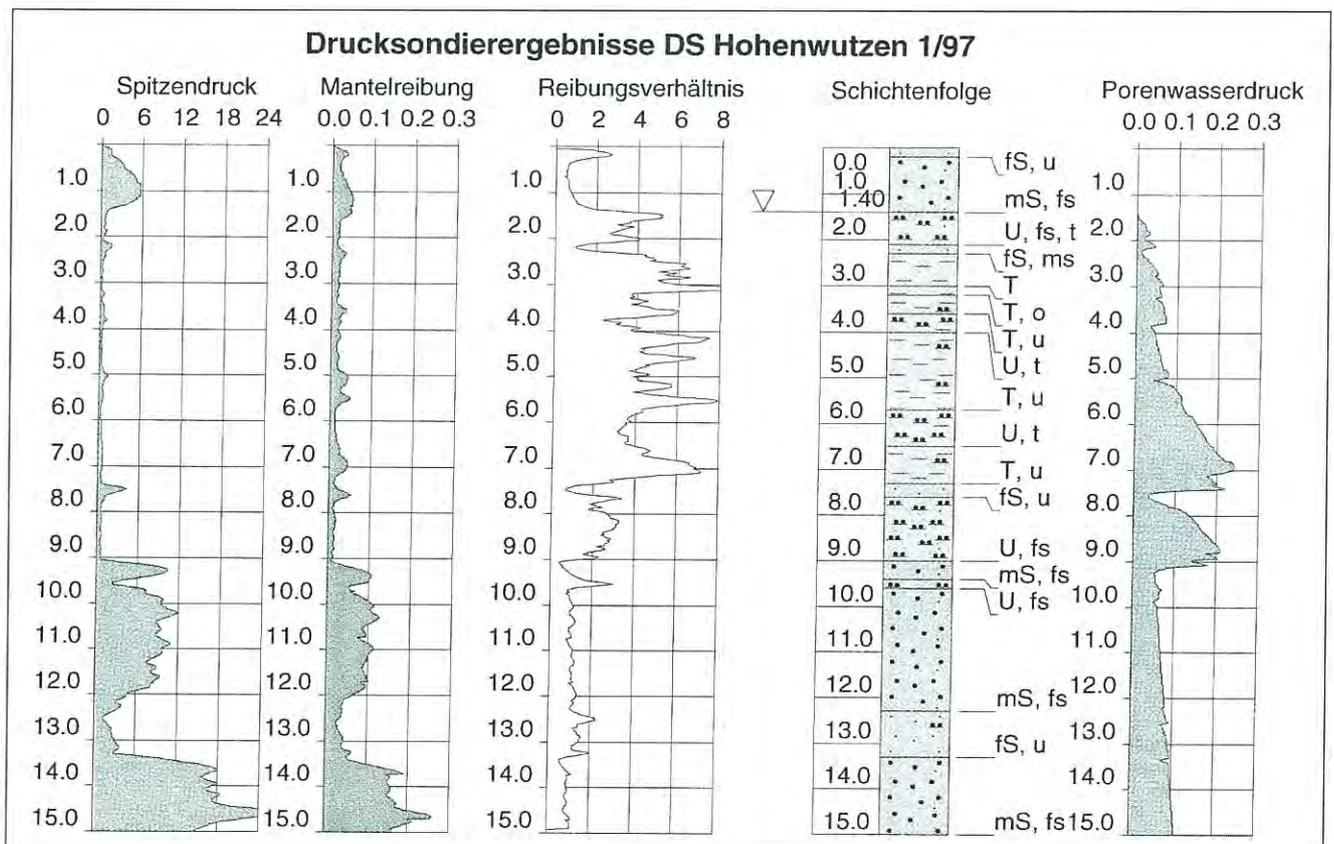


Abb. 2 Darstellung der Ergebnisse der elektrischen Drucksondierung und ihre lithologische Interpretation

Die **Bodenarten** werden in Anlehnung an die von CAMPANELLA & ROBERTSON (1982) ermittelte Gesetzmäßigkeit, daß für jede Bodenart ein bestimmtes Reibungsverhältnis charakteristisch ist, bestimmt. Ganz verallgemeinernd: R_f bis 2 % charakterisieren Sande, bis 4 % Schluffe, bis 8 % Tone und höhere Werte organische Ablagerungen. Diese allgemeinste Untergliederung kann in Kenntnis regionaler Besonderheiten detaillierter ausgearbeitet werden. Wir verzichten deshalb auf eine oftmals als Softwarelösung angebotene automatische Interpretation und ziehen eine ingenieurmäßige Bearbeitung vor - durch Interpretation der Graphik R_f wird die Schichtenfolge analog einem Bohrstäbchen dargestellt (Abb. 2), wobei ergänzende Informationen zum Standort, regionale Besonderheiten und nationale Standards berücksichtigt werden.

Der **Grundwasserspiegel** kann für alle durchteuften Schichten durch Auswertung der Porenwasserdruckmeßwerte bestimmt werden (Abb. 2).

Die **Auswertung der bohrlochgeophysikalischen Messungen**, der Gamma-, Gamma-Gamma- und Neutron-Neutron-Meßkurven, gestattet eine quantitative Bewertung der natürlichen Rohdichte, der Porosität, des Wassergehaltes und des Gehalts an bindigen Bestandteilen. Die Ergebnisse werden anschaulich in einer Gesteinsgraphik dargestellt, die teufenbezogen die prozentualen Anteile wassergesättigten Porenvolumens, organischer, rolliger und bindiger Bestandteile ausweist (Abb. 3, siehe Einlegeblatt). Neben der Präzisierung des geologischen Modells aus den Drucksondierergebnissen können hier auch absolute Werte, z. B. der Rohdichte oder des Wassergehaltes, schichtbezogen abgeleitet werden.

Die **Zustandsformen der Bodenarten** werden von den bei der Drucksondierung ermittelten absoluten Werten des Spitzendruckes (q_c), der die Bruchfestigkeit der einzelnen Schichten charakterisiert, abgeleitet. Beziehungen zwischen Spitzendruck und Zustandsformen sind für alle wichtigen Bodenarten von verschiedenen Autoren (z. B. PLACZEK 1985) untersucht und in Anlehnung an DIN 4094 zusammengefaßt worden.

Die **Rechenwerte** für die Parameter Wichte, Reibungswinkel und Kohäsion zur Standsicherheitsberechnung lassen sich entweder aus Bodenart und Zustandsform nach DIN 1055, Teil 2, Tab. 1 und 2 zuordnen, aus den bei der Drucksondierung ermittelten absoluten Werten des Spitzendruckes (q_c) bestimmen oder können, wie die Wichte, aus den bohrlochgeophysikalischen Messergebnissen übernommen werden.

3. Geologisches Modell

Aus den durchgeführten Arbeiten wurden ein geologisches Modell des Standortes und ein geologisch-geotechnischer Modellansatz entwickelt.

Aus naturräumlicher und geologischer Sicht befindet sich Hohenwutzen auf der Struktur der „Neuenhagener Insel“ im Oderbruch. Diese Struktur besteht aus jungpleistozänen mittel- bis grobkörnigen Talsanden (bis maximal 35 m Mächtigkeit), die flächendeckend von mit organischen Resten durch-

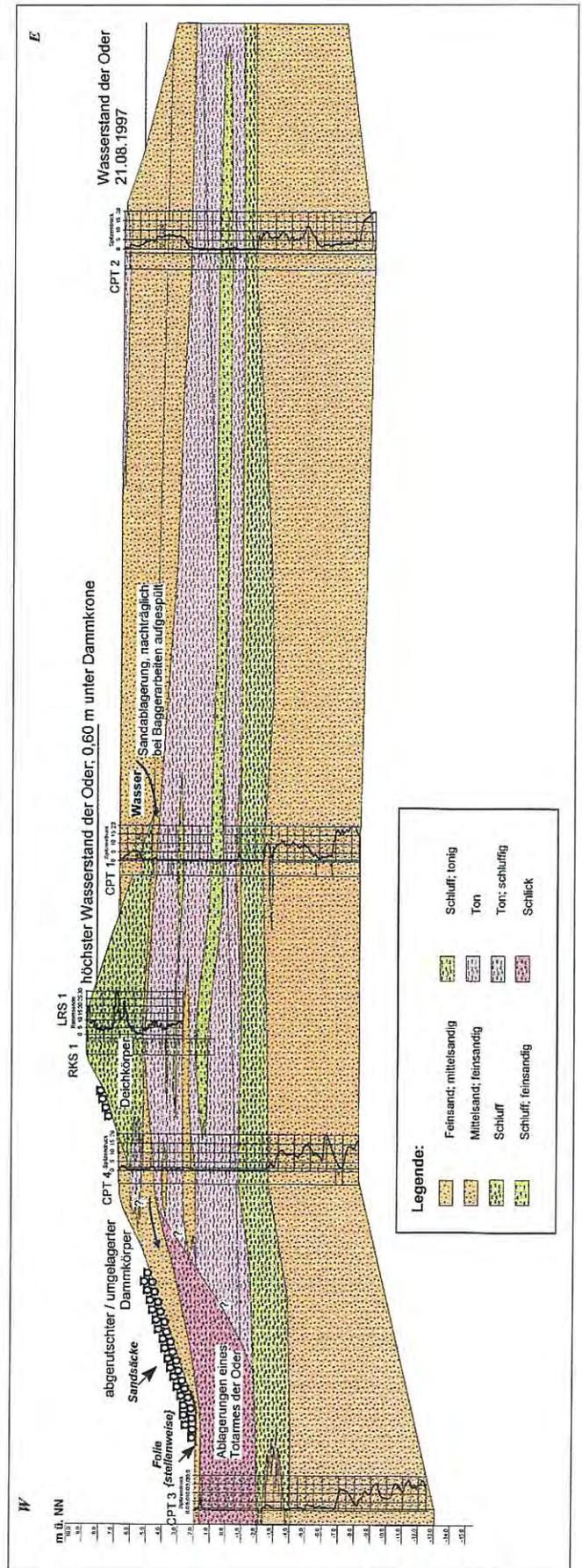


Abb. 4
Geologischer Schnitt am Deichabschnitt Hohenwutzen

setzten holozänen Schluffen und Tonen, dem sogenannten Oderschlick, überlagert werden. Die Mächtigkeit dieser Ablagerung beträgt im Mittel zwischen 2-5 m. In Bereichen relikter Flußarme und Seen wurden die tonigen Schlicke durch Tone mit einem höheren Organikanteil (z. T. auch torfhaltig) ersetzt.

Die ermittelten in-situ-Meßergebnisse und Aufschlüsse bestätigen und präzisieren die beschriebenen regionalen Verhältnisse und gestatten die Konstruktion eines detaillierten geologischen Schnittes (Abb. 4). Danach wird der gesamte zentrale und östliche Dammschnitt von den beschriebenen holozänen Ton- und Schluffschichten unterlagert (Bodengruppe nach DIN 18196 „Schluff-mittelpastisch“, UM). Der hohe Organikanteil wird durch stark erhöhte Reibungsverhältnis-

auf tretende, wasserdurchlässige Sandschicht eingelagert, deren Entstehung nicht geogenen Ursprungs zu sein scheint. Daß diese Schicht hydraulisch grundwasserleitend wirkt, wurde durch entsprechende Beobachtungen des Deichpersonals während des Hochwassers bestätigt. Es ist anzunehmen, daß es sich hier um eine den Deichfuß stabilisierende „Tragschicht“ handelt. Diese Sandschicht kommuniziert mit einer ca. 2 m mächtigen sandigen Aufspülung oderseitig.

Ebenso deutet die sich anschließende Tonschichtoberkante auf eine geringe anthropogene Formgestaltung hin. So erreicht die Oberfläche der Tonschicht mit ca. 5 m NN genau unterhalb der Dammkrone ihre höchste Lage, die hier mit ca. 0,5 m das Odernormalwasser überragt.

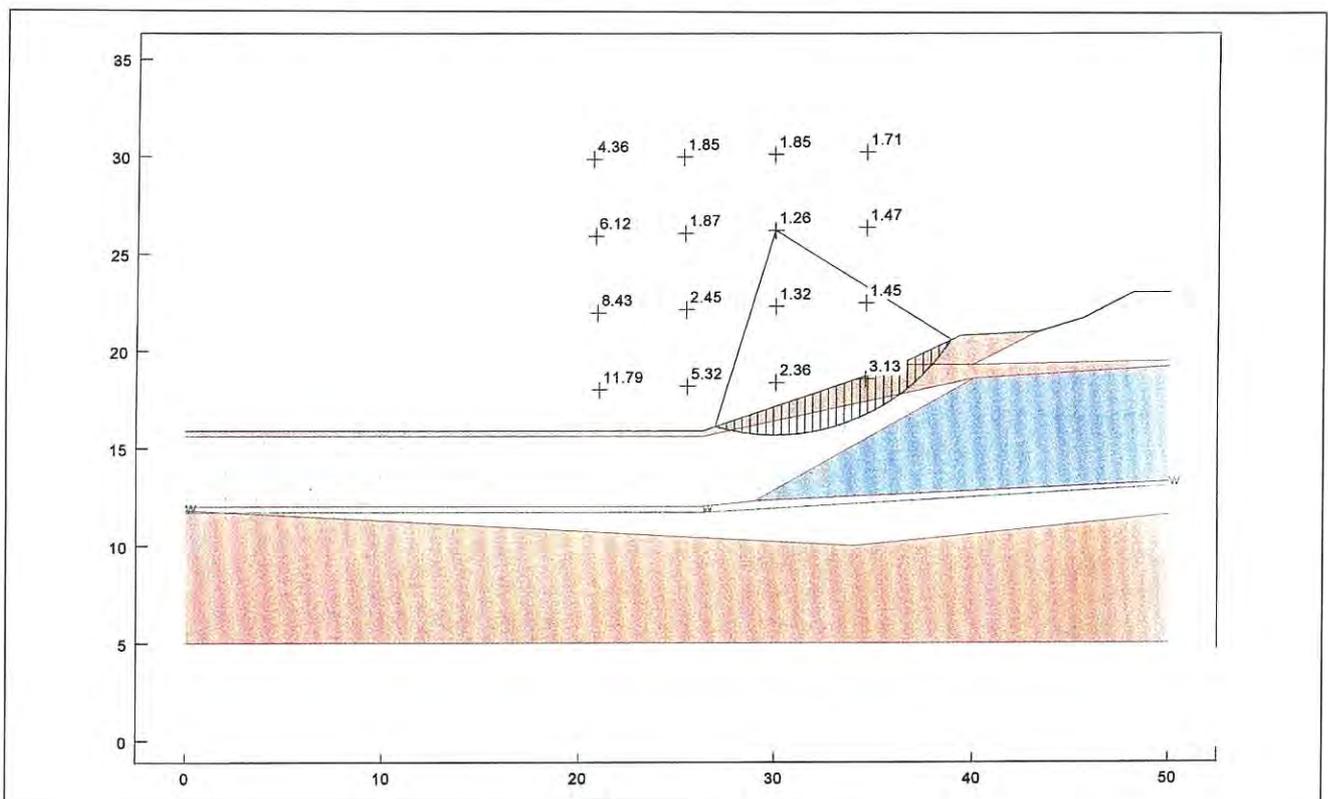


Abb. 5
Böschungbruchberechnung - Normalzustand

se der Drucksondierung beschrieben, die gut mit den hohen Porositäten der Bohrlochgeophysik korrelieren (Maximalporositäten zwischen 60-70 %).

Im Bereich des westlichen Dammhanges wird der Ton durch noch stärker organisches Material enthaltende Schlick-Torf-Ablagerungen ersetzt, während die tieferliegende Schluffschicht ausdünn. Der Torfanteil läßt sich aus einem Reibungsverhältnis > 10 bei extrem niedrigem Spitzendruck ableiten.

Zwischen der unterlagernden geogenen Tonschicht und dem aus mittelpastischen Schluff bestehenden Deichkörper ist eine geringmächtige (nur wenige Dezimeter mächtige) jedoch flächig aushaltende, sowohl in DS 1 als auch in DS 4

4. Standsicherheitsberechnung

4.1. Geologisch-geotechnischer Modellansatz

Unter Verwendung der am Standort aufgeschlossenen geologischen Verhältnisse sowie der interpretierten Meßergebnisse geht folgender Modellansatz in die Standsicherheitsberechnung ein:

Variante a) „Normalfall“

Bindiger nicht wasserdurchlässiger Dammkörper (steife Konsistenz), mit horizontalem Dammfuß.

Geringmächtige wasserdurchlässige Sandschicht unterhalb des Dammkörpers, bei Oderwassernormalhöhe kein Wasserabfluß durch Sandschicht.

Unterlagernde Tonschicht im Osten (steife Konsistenz), unterlagernde Schlick-Torfschicht im Westen (weiche Konsistenz).

Im Liegenden Anschluß der gespannten Grundwasser führenden Talsande.

Kein zusätzlicher hydrostatischer Druck auf den Deich.

Da die „normalen“ Grundwasserstände am Standort nicht dokumentiert sind, erfolgte die Böschungsbruchberechnung für zwei unterschiedliche Porenwasserdruckzustände, die unterschiedlichen Wassersättigungsgraden entsprechen.

Variante b) „Extremhochwasser“

(abklingendes Extremhochwasser entspricht dem Untersuchungs-Ist-Zustand)

Bindiger nicht wasserdurchlässiger Dammkörper (weiche-steife Konsistenz) mit horizontalen Dammfuß.

Geringmächtige wasserdurchlässige Sandschicht unterhalb des Dammkörpers, bei Wasserständen > 5 m NN erfolgt ein Wasserabfluß durch die Sandschicht landeinwärts.

Infolge Wassereinspeisung Verringerung der Konsistenzen in der unterlagernden Tonschicht im Osten auf weich sowie in den unterlagernden Schlick-Torfschichten im Westen auf breiig bis weich (Spitzendruck z. Z. = 0 MN/m²!).

Im Liegenden Anschluß der gespannten Grundwasser führenden Talsande.

Wegen des Aufstaus des Oderwassers auf 0,6 m unter Deichkrone wirkt zusätzlicher hydrostatischer Druck auf den Deich.

4.2. Ergebnis der Standsicherheitsberechnungen

Die Berechnung erfolgte mit Hilfe der GGU-Programm-Software „BOESCH-KR“ als Böschungsbruchberechnung für kreisförmige Gleitflächen. Die Bewertung wurde nach der DIN 4084 (alt), die die größte Sicherheit S zu Grunde legt, vorgenommen.

Als Variablen wurden die in-situ aus Drucksondierergebnissen (und für den Deichkörper laborativ aus RKS-Proben) bestimmten Bodengruppen und Konsistenzen bzw. Lagerungsdichten mit den Parametern Dichte (γ), innere Reibung (ϕ) und Kohäsion (c) sowie die jeweilige Wassersättigung zugeordnet.

Die ermittelten Böschungssicherheiten S für den „Normalfall“ bewegen sich in Abhängigkeit vom angenommenen Grundwasserstand mit Werten zwischen 1,26 und 1,13 um die nach DIN 4084 vorgegebenen Mindestsicherheit von 1,2 (Abb. 5).

Aus diesem Ergebnis ist abzuleiten, daß der untersuchte Deichabschnitt nur im Trockenzustand die geforderte Mindestsicherheit aufweist und sich bereits bei saisonal bedingt auftretenden „Normalhochwässern“ in einem kritischen Sicherheitszustand befinden kann.

Das Berechnungsergebnis für das „Extremhochwasser“ weist mit $S = 0,76$ einen höchst instabilen Zustand nach, der zwangsläufig zum Böschungsbruch führen mußte (Abb. 6).

5. Schlußfolgerungen

Durch die Untersuchung des Deichstandortes mit Drucksondieretechnik und bohrlochgeophysikalischer Messung konnten in-situ schnell und wirtschaftlich alle Angaben gewon-

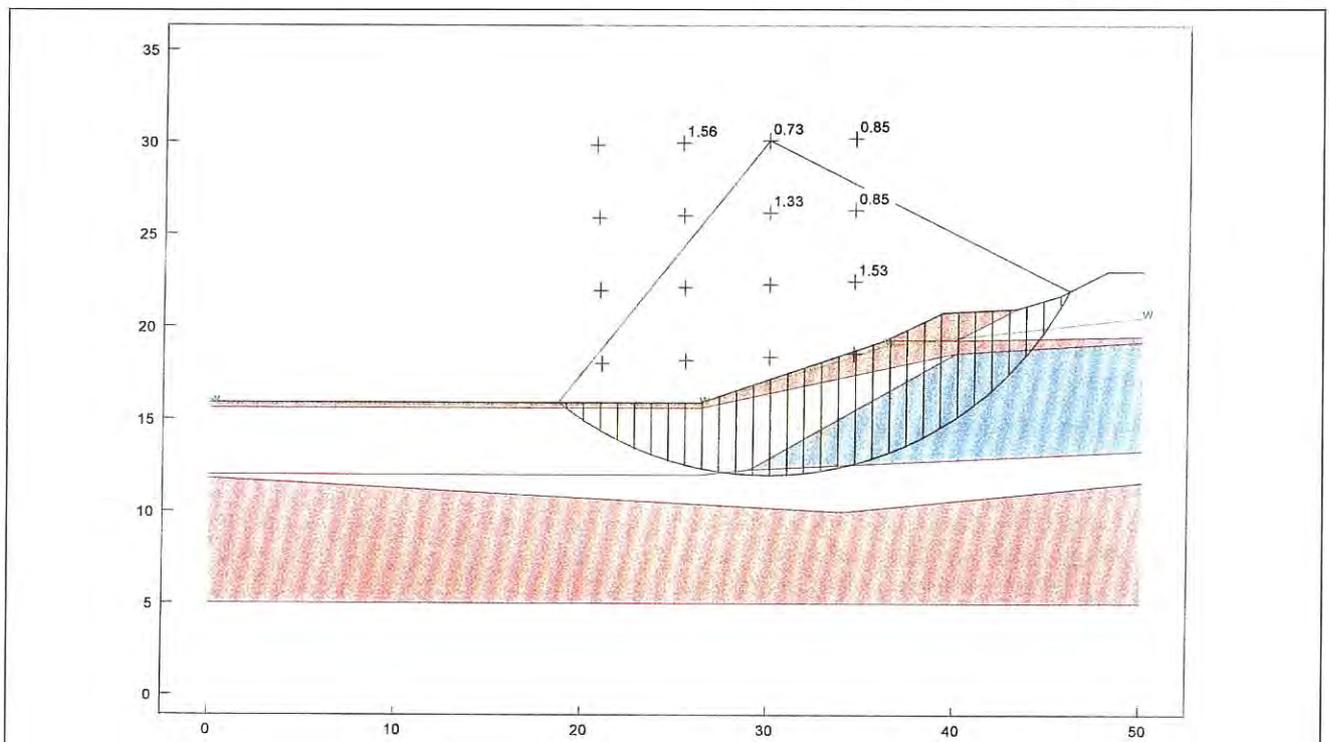


Abb. 6
Böschungsbruchberechnung - Extremhochwasser 1997

nen werden, um das geologische Modell des Standortes einschließlich seines tieferen Untergrundes (Bodenarten im Profil, Grundwasserstand), die Zustandsformen der Bodenarten und die Rechenwerte für die Ermittlung der Standsicherheit (Wichte, Innere Reibung, Kohäsion) zu bestimmen.

Als Ursache für den instabilen Zustand des Abschnittes bei Hochwasser sind Schlickablagerungen eines alten Oderarmes, die bis unter die landseitige Deichböschung reichen, sowie eine wasserleitende Schicht unter der Deichbasis festgestellt worden.

Die Ergebnisse der Standsicherheitsbewertung verdeutlichen die Bedeutung, die der genauen Kenntnis des geologischen Untergrundes für die Errichtung standsicherer Schutzanlagen zukommt.

6. Zusammenfassung

FUGRO CONSULT GmbH hat gemeinsam mit der Gesellschaft für bohrlochgeophysikalische und geoökologische Messungen (BLM Storkow) am Oderabschnitt Hohenwutzen im Rahmen einer technischen Demonstration die Einsatzmöglichkeiten der Drucksondiertechnologie für die Bewertung der Deichstandsicherheit vorgestellt. In einem Deichquerprofil wurden vier Drucksondierungen bis 15 m unter Gelände durchgeführt und dabei kontinuierlich Spitzendruck, lokale Mantelreibung und Porenwasserdruck gemessen. An zwei Ansatzpunkten wurden anschließend mit der Drucksonde Meßrohre bis ebenfalls 15 m in den Untergrund gepreßt, in denen bohrlochgeophysikalische Messungen durchgeführt wurden. Im Bereich der Deichkrone wurden ergänzend herkömmliche Untersuchungen mit leichtem Gerät durchgeführt (Rammkernsondierung mit Probenahme und bodenmechanischer Laboranalyse, leichte Rammsondierung), da der Deichkörper mit schwerem Gerät noch nicht befahrbar war.

Aus den Meßwerten der Drucksondierungen lassen sich der lithologische Schichtenaufbau (geologisches Modell, Bodenarten), Lagerungsdichte und Konsistenz (Zustandsformen) nach DIN 4094, sowie Wichte, Reibungswinkel und Kohäsion (Rechenwerte) nach DIN 1055 ableiten. Die geophysikalischen Bohrlochmeßkurven ermöglichen eine lückenlose quantitative Bewertung der Rohdichte und des wassererfüllten Porenraumes.

Eine Standsicherheitsberechnung nach dem Lamellenverfahren (Bishop) für den Zustand Extremhochwasser ergibt eine Böschungssicherheit von $S = 0,76$ und erklärt den Böschungsbruch. Als Ursache für den instabilen Zustand sind mehrere Meter mächtige Schlickablagerungen eines alten Oderarmes, die bis unter die landseitige Deichböschung reichen, sowie eine wasserleitende Schicht unter der Deichbasis anzusehen.

Literatur

CAMPANELLA, R. & P. ROBERTSON (1982): State-of-the-art in-situ testing of soils: Developments since 1978. - Dept. of Civil Eng., University of British Columbia, Vancouver, Canada.

BOESCH-KR (1997): Böschungsbruchberechnung für kreisförmige Gleitflächen (Bishop). - Berechnungssoftware der GGU Gesellschaft für Grundbau und Umwelttechnik mbH, Braunschweig 1997.

PLACZEK, D. (1985): Vergleichende Untersuchungen beim Einsatz statischer und dynamischer Sonden. Geotechnik 8, 68-75, Essen (DGEG).

DIN 1055, Teil 2 (1976): Lastannahmen für Bauten; Bodenkenngrößen, Wichte, Reibungswinkel, Kohäsion, Wandreibungswinkel.

DIN 4084 (1981): Gelände- und Böschungsbruchberechnungen.

DIN 18169 (1988): Erd- und Grundbau; Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke.

Anschrift der Autoren:

Dipl.-Geol. Norbert Ehle
Dipl.-Ing. Geotechn. Siegrid Eichhorn
FUGRO CONSULT GmbH
Wolfener Straße 36 K
12681 Berlin

Geophysikalische Untersuchung der Beschaffenheit der Deichanlagen und der geohydraulischen Eigenschaften des Untergrundes

GERHARD BRANDT & CHRISTIAN RICHTER

1. Anforderungen

Die baulichen Maßnahmen zum Hochwasserschutz bedürfen neben der gediegenen ingenieur-technischen Leistung vor allem des Wirkens des Hydrogeologen. Es sind neben der technischen Güte des Bauwerkes hydrogeologische Eigenschaften und Verhaltensweisen von Bauwerk und Untergrund, die die Funktionsfähigkeit der Gesamtanlage bestimmen. Die hydrogeologischen Vorarbeiten sind u. a. Untersuchungen des Untergrundes, wie Kartierungsarbeiten alter Flußläufe und ihrer lithologischen Beschaffenheit. Der ungebändigte Strom

war besonders im Flachland in viele teilweise nur einige Meter breite Teilströme aufgefächert, deren Verläufe zeitlich immer wieder wechselten. Einen ersten Aufschluß hierzu liefert die topographische Karte (Abb. 1). Die Anlage des Deichbauwerkes und die Gestaltung seiner Wurzeln müssen die Gegebenheiten des Untergrundes berücksichtigen.

Es sind weiter die geohydrologischen Eigenschaften des Bauwerkes selbst, die der Hydrogeologe bewerten muß. Materialinhomogenitäten und Inhomogenitäten in der Verdichtung verursachen Inhomogenitäten der hydraulischen Dichtigkeit des

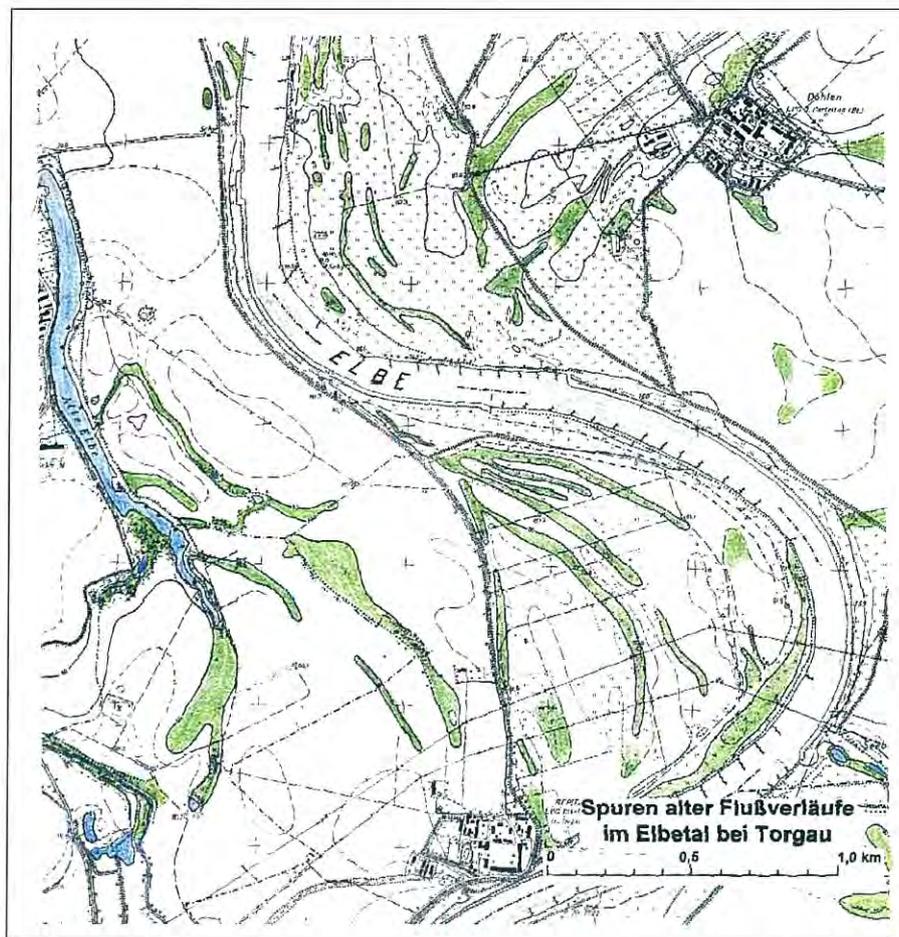


Abb. 1

Topographisch sichtbare Spuren alter Flußläufe der Elbe bei Torgau

Deiches. Noch mehr als bei der hydrogeologischen Beurteilung des Untergrundes kommt es hier auf kleine Details an. Es sind die strukturellen Details und ihre potentiellen hydrodynamischen Eigenschaften zu untersuchen und tatsächliche Wasserbewegungen nachzuweisen.

Die Hydrogeologie bedient sich nicht nur in ihrem klassischen Wirkungsbereich geophysikalischer Verfahren. Bei Problemstellungen zu Fluidbewegungen im Umweltschutz und in der Ingenieurgeologie kommt sie ohne geophysikalische Hilfe nicht aus.

In der Zusammenarbeit zwischen Hydrogeologie und Geophysik haben sich einige geophysikalische Verfahren als besonders geeignet für die hydrogeologische Untersuchungspraxis herauskristallisiert.

ρ_w = spezifischer elektrischer Wasserwiderstand

d_{wi} = wirksamer Korndurchmesser;

c_T = Tongehalt/Feinstkorngehalt

Bei natürlichen Ablagerungen fluviatiler Art bewirken die geometrischen und physikalischen Eigenschaften des Sedimentes, daß auch die Porosität n prinzipiell eine Funktion der wirksamen Korngröße d_{wi} darstellt. Überschlägig betrachtet reduziert sich für Sande und Kiese die Abhängigkeit des Schichtwiderstandes ρ_{Sch} auf die zwei Größen d_{wi} und ρ_w .

Die wichtige Einflußgröße d_{wi} ist schließlich für die prinzipielle Verwandtschaft des spezifischen elektrischen Schichtwiderstandes zum kf-Wert verantwortlich, ohne daß es bisher gelungen ist, eine allgemein gültige Rechenregel hierfür zu entwickeln. Es werden aber Richtungen angezeigt.

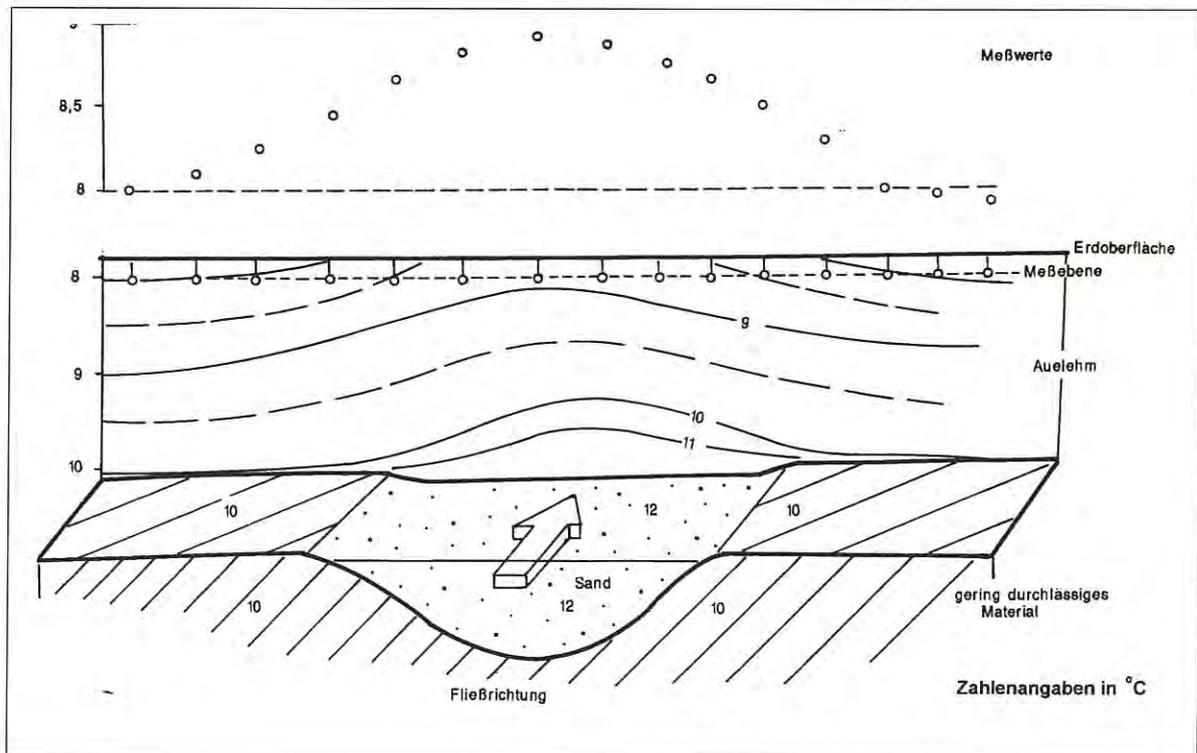


Abb. 2

Schematische Darstellung des thermischen Feldes fließender relativ wärmerer Fluide

2. Geoelektrik und Geothermie als Hilfsmittel der hydrogeologischen Untersuchung

Im Lockergestein hat sich zur Erkundung der strukturellen und lithologischen Gliederung des Bodens die Geoelektrik als sehr wirksam erwiesen. Das gilt besonders für Erkundungstiefen des Nahbereiches, wo die Schichtauflösung des Verfahrens entsprechend feingliedrig ist.

Die Vorzüge der Geoelektrik erklären sich aus den hydrorelevanten Einflußgrößen auf den spezifischen elektrischen Schichtwiderstand ρ_{Sch} , deren wichtigste die folgende Beziehung angibt:

$$\rho_{Sch} = f(n, r_{wi}, d_w, c_T, s_w)$$

n = Porosität;

s_w = Wassersättigung;

Bei wassergesättigten, natürlich abgelagerten Sanden und Kiesen gilt ungefähr

$$\rho_{Sch} = (3 \dots 8) \times \rho_w \text{ (je nach } d_{wi}\text{)}.$$

Ist nur Haftwasser im Gestein, steigt der Widerstand auf das 10fache oder höher.

Pelitische Schichten haben eine große innere Oberfläche und deshalb ein hohes Wasserhaltevermögen. Dies und die gute Leitfähigkeit der Feststoffmatrix selbst lassen bindige Schichten oder Schüttungsmaterialien als Bereiche mit niedrigem spezifischen elektrischen Widerstand auch dann erscheinen, wenn sie deutlich oberhalb des Wasserspiegels lagern:

$$\rho_{Sch} \approx \text{meist} < 2 \rho_w.$$

Bei künstlichen Schüttungen ist gut klassiertes Material als Baustoff die Ausnahme. Die Porosität n , die hier vom Verdichtungsgrad und der Korngrößenungleichförmigkeit U abhängt, bestimmt mit der Verteilung an rolligem und bindigem Material maßgeblich den Schichtwiderstand. Großporige Bereiche, z. T. als Folge einer geringen Verdichtung oder schlechten Durchmischung des Materials, machen sich durch deutlich erhöhte spezifische elektrische Widerstände bemerkbar.

Insgesamt läßt sich verallgemeinern:

- Durchlässige Bereiche lassen sich mittels Geoelektrik von stauenden Bereichen voneinander trennen.
- Im Lockergestein ist die Geoelektrik nicht nur ein Hilfsmittel zur Strukturerkundung, zur Abgrenzung der Schichten voneinander, sondern gleichzeitig ein Hilfsmittel für eine erste physikalische Klassifizierung des Materials.

Die Geoelektrik ist besonders geeignet, die potentiellen Fließwege anzuzeigen. Wenn es jedoch erforderlich ist, über die Fluidbewegung den Fließvorgang direkt nachzuweisen, bedarf es der Markierung des Fluids, die es gestattet, möglichst unkompliziert und dennoch sicher die Fließbahnen zu kartieren. In der Hydrogeologie und der mit ihr koope-

rierenden Geophysik sind eine Vielfalt von Markierungsverfahren entwickelt worden, die sich unterschiedlicher Markierungsstoffe bedienen, wie z. B. Salztracer, Farbtracer, radioaktive und verschiedenste biologische Tracer. Sie alle haben ihre spezifischen Anwendungsgebiete und Vorteile. Sie haben aber auch ihre Nachteile:

- Sie bedürfen der zugänglichen Aufschlüsse.
- Bei punktueller Eingabe (räumlich, zeitlich) sind die Erfolgsaussichten im übertragenen Sinne ebenfalls punktuell.
- Der Meßfühler muß sich meist im Fluidstrom befinden, oder es sind sogar körperliche Beprobungen nötig.

Eine besonders günstige Markierung liefert die Natur oft selbst. Es ist die Temperatur eines Fluids. Hydraulisch aktive Strukturen unterscheiden sich thermisch überraschend stark vom quasi stagnierendem hydraulischen Fluß ihrer Umgebung. Die Lokalisierung solcher auch kleindimensionierter Fließzonen im Bohraufschluß bedarf nicht des Filters, weil sich die Temperaturanomalie durch die Verrohrung hindurchpaust. Mit geeigneten Meßmitteln kann man sie auch oberhalb des Wasserspiegels z. B. als Schwebendwasser sicher feststellen. Bei einem lang anhaltenden Fließprozeß baut

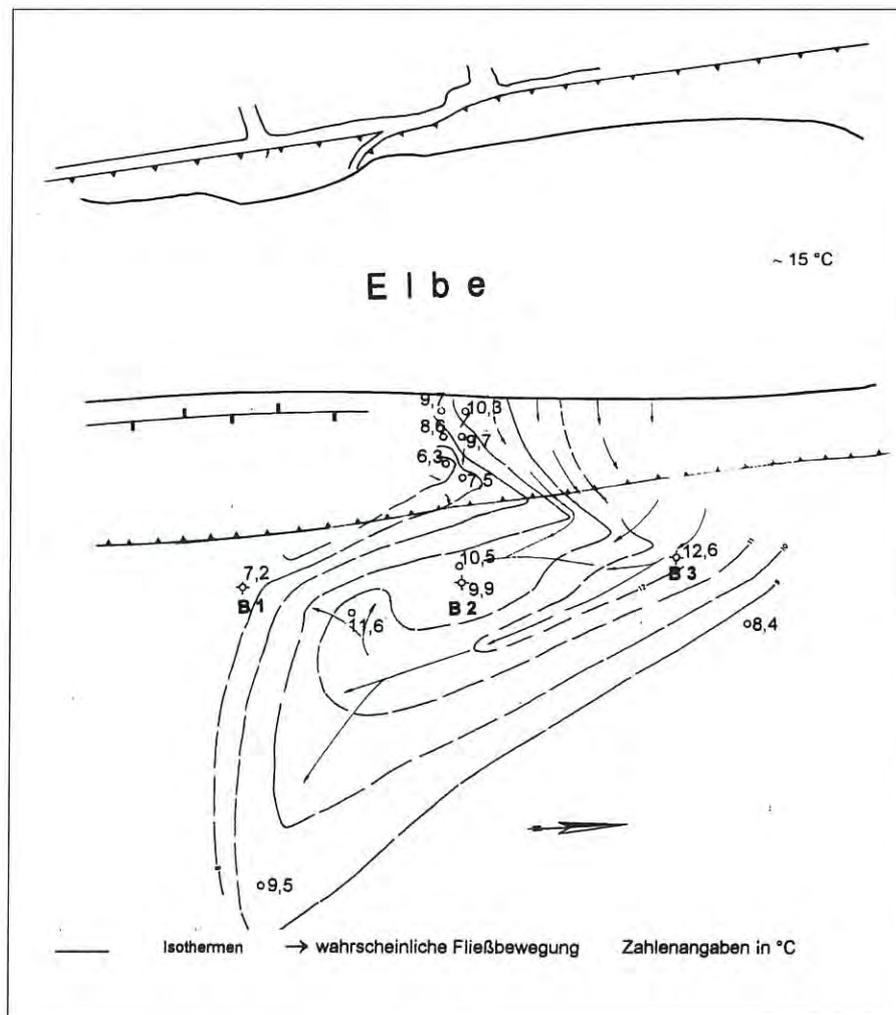


Abb. 3
Ergebnisse von Temperaturregistrierungen während eines Pumpversuches

sich um den Fließpfad ein thermisches Potentialfeld auf (Abb. 2), das mit hoch auflösenden, technologisch angepassten Meßmitteln im Bereich der Erdoberfläche noch wahrnehmbar ist. In Rammlöchern mit ca. 20 mm Durchmesser und ca. 1 m Tiefe werden unbeeinflusst vom thermischen Tagesgang an der Erdoberfläche und quasi zerstörungsfrei die thermischen Wirkungen von Fließvorgängen wahrgenommen.

Mit der geoelektrischen Widerstandsmessung und geothermischen Messungen wird ein sich ergänzendes System vorgestellt, mit dem die potentiellen Fließwege und der aktuelle Fließvorgang nachweisbar sind. Diese Verfahren eignen sich bevorzugt zur Untersuchung des Geländes, auf dem sich die Deiche befinden oder gebaut werden sollen und zur Untersuchung der Deiche selbst.

3. Praktische Anwendungen

3.1. Übersichtsmessungen in der Flußbaue

Im Rahmen großräumiger hydrogeologischer Erkundungsmaßnahmen im Elbtal wurden sowohl ausgedehnte geoelektrische Tiefensondierungen als auch Pumpversuche durchgeführt. Die Ergebnisse der Tiefensondierungen nach SCHLUMBERGER liefern ein Abbild der komplexen Untergrundstrukturen mit verschiedenen Grundwasserleitern und -stauern.

Den Direktnachweis dafür, daß die Fließbewegungen auf den vorgezeichneten Bahnen alter Flußläufe weiter funktionieren, erbrachten zielgerichtet angesetzte Temperatur-

messungen im Zusammenhang mit einem im Monat Mai demonstrierten Pumpversuch. Die Verteilung der Temperaturen im Untersuchungsgebiet (Abb. 3) weist nach, daß höchstens in untergeordnetem Maße das wärmere Elbewasser auf quasi geradem Wege die Brunnen (B1, B2, B3) der Galerie anströmt. In der Zone zwischen Elbe und Galerie herrschen noch die Wintertemperaturen vor. Die Brunnen werden im Bogen im Prinzip von hinten angeströmt. Die nach den geothermischen Messungen gezeichneten Fließbahnen decken sich sehr gut mit dem topographischen Minimum, einer heute noch erkennbaren flachen Talung. Die Ergebnisse der Temperaturmessungen belegen eindeutig die hydraulische Wirksamkeit der alten Flußläufe.

3.2. Untersuchungen an den Deichen mittels hochauflösender Geoelektrik

3.2.1. Meßprinzip hochauflösender Geoelektrik

Analog zur „klassischen“ Geoelektrik beruhen die Untersuchungen auf der Unterscheidung der Materialien bezüglich ihrer elektrischen Eigenschaften. Der Unterschied besteht in der wesentlich erhöhten Meßdichte aufgrund automatisierter Messung von Multielektrodenaufstellungen und Aufzeichnung der Meßdaten. Außerdem kann sich durch spezielle Auswertalgorithmen vom Halbraumproblem der Geoelektrik gelöst werden. Prinzipiell sind beliebige Elektrodenanordnungen möglich (siehe Abb. 4)

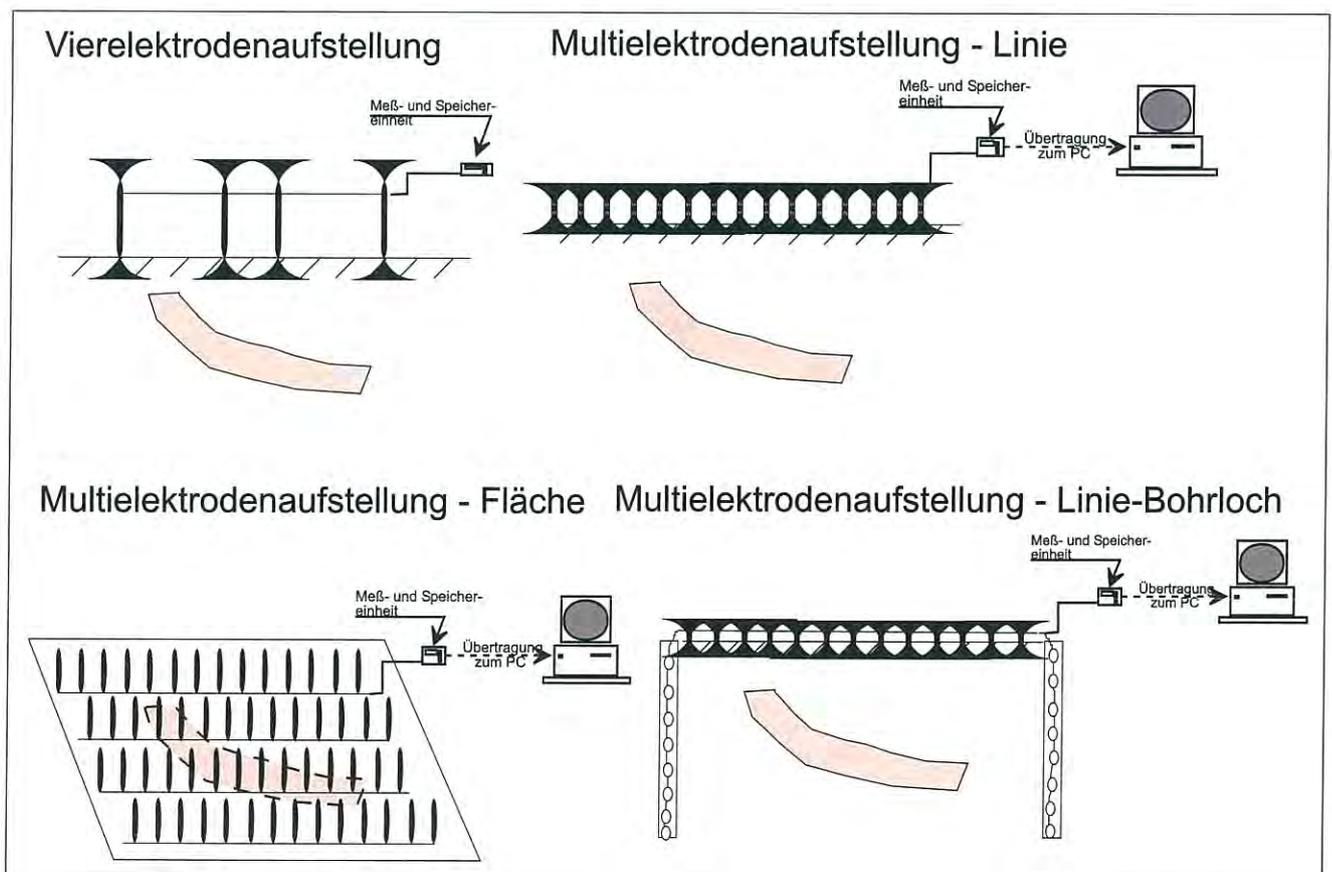


Abb. 4

Beispiele für geoelektrische Meßgeometrien

3. 2. 2. Realisierung der Feldmessungen

Die hochauflösenden geoelektrischen Messungen sollen der Suche kleinräumiger Widerstands- (Material-) Inhomogenitäten im Deichkörper dienen. Zu diesem Zwecke wird die Multielektrodenaufstellung quer zur Deichachse über den gesamten Deich und dessen Anbindung an den Untergrund am Fuße aufgebaut (siehe Abb. 5). Die Querprofilierung wird gewählt, um „geoelektrische Querschnitte“ des Deiches zu erhalten. Außerdem können damit unkontrollierbare Symmetrieeffekte der Ausbreitung des elektrischen Feldes vermieden werden.

Die Elektroden werden nur wenige Zentimeter in den Boden gespießt. Damit kann eine zerstörungsfreie Untersuchung gewährleistet werden.

Das Multicore-Spezialkabel mit 26 bzw. 52 Elektrodenanschlüssen wird über einen Rechner angesteuert. Sämtliche Elektroden werden in vorgegebenen Konfigurationen als Spannungs- bzw. Stromelektrode geschaltet. Auf diese Wei-

se ist auch die Kombination mehrerer Elektrodenkonfigurationen, wie Wenner- und Dipol-Dipol-Geometrien möglich. Die hohe Meßdichte garantiert eine hohe laterale und vertikale Widerstandsauflösung. Für ein Meßkabel mit 52 Einzelelektroden ergeben sich beispielsweise für Wenner-Messungen 400 Einzelmeßwerte und für Dipol-Dipol-Messungen sogar 1.200 Einzelmeßwerte. Die Einzelmeßwerte der verschiedenen Meßgeometrien werden bei der Modellierung gemeinsam verarbeitet. Aus der beschriebenen Vorgehensweise ergibt sich ein Widerspruch zwischen dem Anspruch der Geophysik, flächendeckende Aussagen machen zu wollen und dem stichpunktartigen Messen einzelner „Querschnittsscheiben“.

Der Vorschlag zur Lösung dieses Widerspruches besteht in der Verbindung dieser Querprofilierungen mittels geoelektrischen Mehrniveaufkartierungen längs der Dammachse. Zum Erreichen eines hohen Meßfortschritts werden 3 - 4 Tiefenniveaus, also Aufstellungsweiten innerhalb einer Meßgeometrie angesprochen.

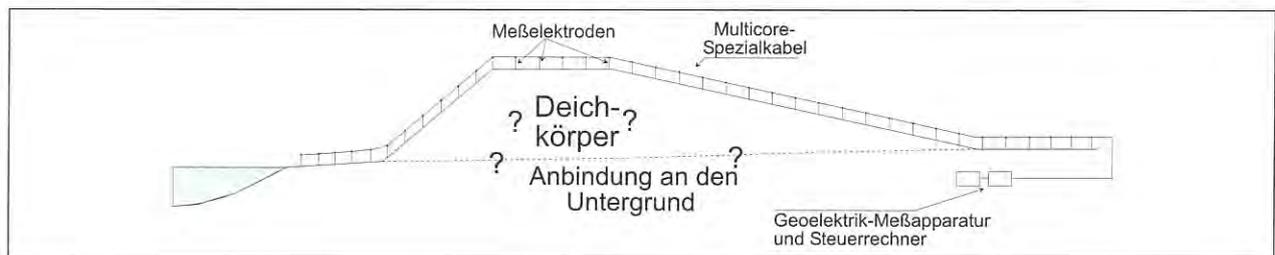


Abb. 5
Konzeption der geoelektrischen Querprofilierung an Flußdeichen

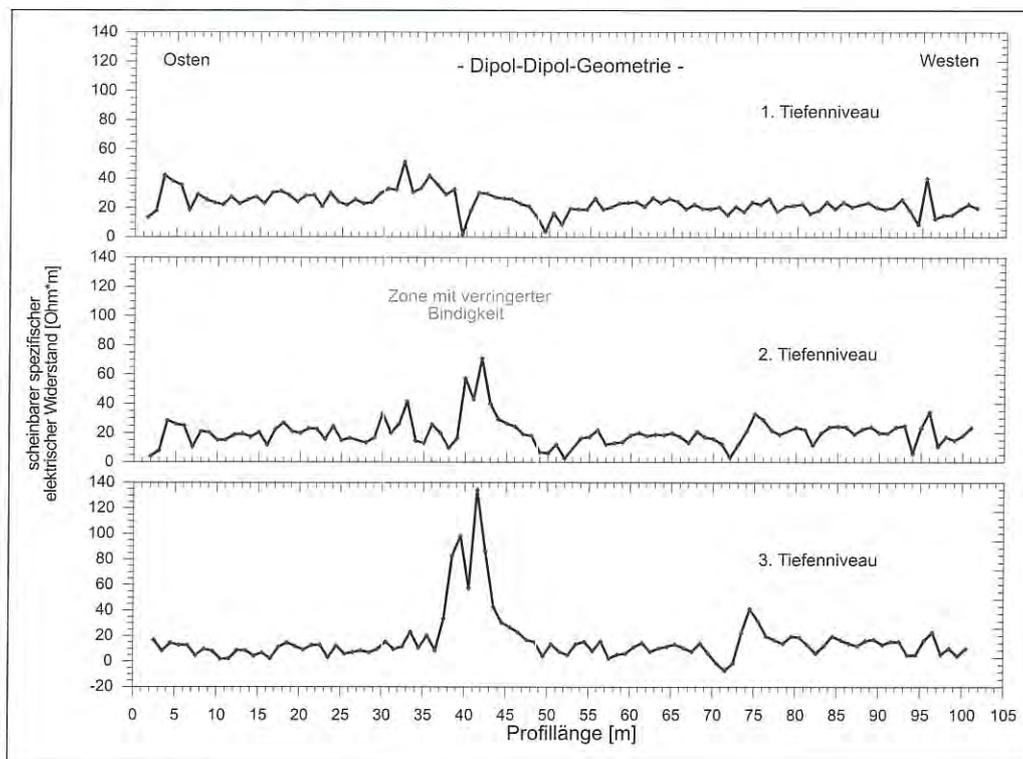


Abb. 6
Geoelektrische Untersuchung eines Klärbeckendamms

Diese Messungen dienen ausschließlich dem Erkennen von Materialwechseln oder Inhomogenitäten entlang der Deichachse zwischen den geoelektrischen Profilschnitten. Daß diese Verfahrensweise funktioniert, zeigen Erfahrungen aus ähnlichen Aufgabenstellungen. Das Beispiel zeigt eine Dammuntersuchung eines Klärbeckens mit Wasserverlusten (Abb. 6). Die Messungen (Dipol-Dipol-Konfiguration) zeigen deutlich die Materialinhomogenität in Form weniger bindiger Bereiche und lassen damit auf die

Das zweite Temperaturminimum findet keine Bestätigung in den geoelektrischen Messungen. Es ist ein Indiz für die Unterströmung des Dammes.

3. 2. 3. Auswertung und Interpretation der Messungen

Bei der großen Menge anfallender Felddaten können nur automatische Auswertelgorithmen verwendet werden. Die Meßwerte werden entsprechend der Meßgeometrien in scheinbare elektrische Widerstände umgerechnet. Diese Wi-

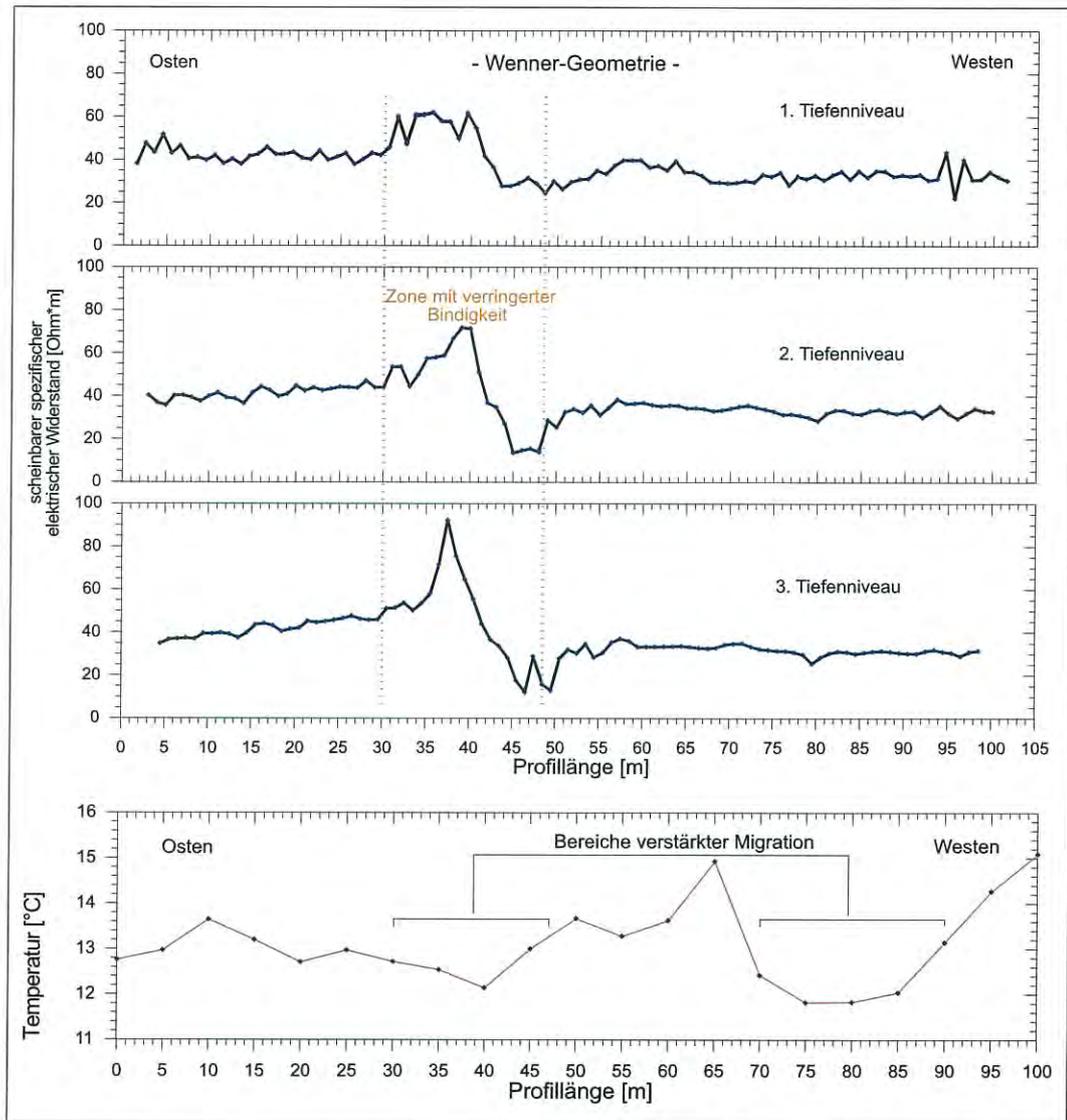


Abb. 7

Nachweis von Durchflußbereichen eines Dammes mit geothermischen und geoelektrischen Messungen

Verlustzone des Dammes schließen. Der Ergebnisse der geophysikalischen Untersuchungen wurden durch eine Beprobung verifiziert.

Zum direkten Nachweis von Durchflußbereichen können geoelektrische Untersuchungen mit geothermischen Messungen kombiniert werden, wie das zweite Beispiel zeigt (Abb. 7).

Die Temperatur zeigt deutlich zwei Minima. Die erste Anomalie korreliert mit einem Widerstandsmaximum der Wenner-Mehrniveaufkartierung und zeigt durchlässige Bereich an.

derstände können als qualitatives Ergebnis bei Zuordnung der Widerstandswerte zur Elektrodenposition und Meßniveaus als Pseudosektion dargestellt werden. Angestrebt wird natürlich eine quantitative Aussage, also wahre Gebirgswiderstände und Teufen. Dazu wird ein tomographisches Verfahren angewandt.

Unter Vorgabe eines plausiblen Modells wird ein synthetische Potentialverteilung errechnet. Dieser berechnete Datensatz wird mit den Meßwerten verglichen und iterativ an die-

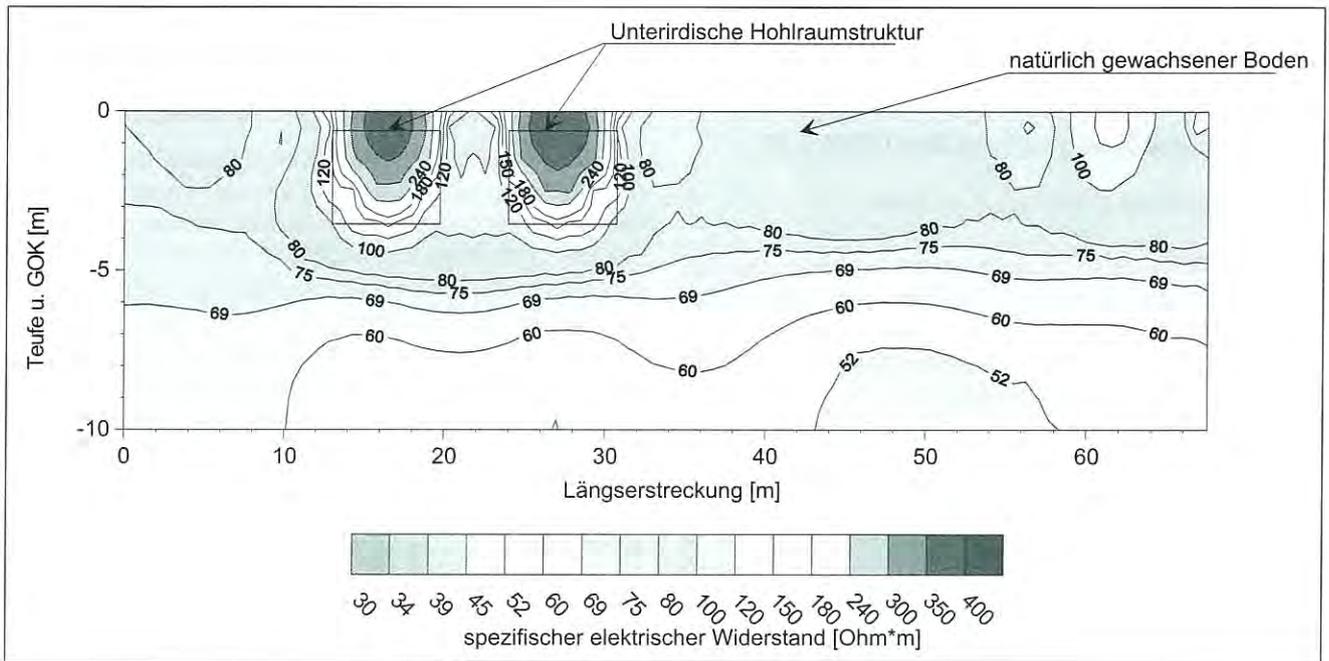


Abb. 8
 Resultat einer Hohlraumerkundung mit einer Multielektrodenmethode

sen angepasst. Im Ergebnis wird ein zweidimensionaler Schnitt, hier ein Beispiel aus der archäologischen Erkundung, erhalten (siehe Abb. 8).

Die Resultate müssen durch ergänzende Untersuchungen, wie direkte Aufschlußverfahren oder Bohrlochmessungen verifiziert werden. Hier ist in jedem Falle eine enge interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Geophysikern, Geologen, Geotechnikern und Baugrundingenieuren gefragt.

Literatur

BEYER, W. (1961): Beitrag zur Ermittlung maßgebender Grundwasserfließgeschwindigkeiten Dissertation TU Dresden; Institut für Boden und Wasserwirtschaft.

BRANDT, G.: Pirna-Mühlberg II - Migrations-PV Ergebnisbericht HGN Hydrogeologie GmbH, Torgau, 1990.

BRANDT, G. (1994): Geophysikalische Untersuchungen Bitterfeld-Ost Ergebnisbericht HGN Hydrogeologie GmbH, Torgau.

BRANDT, G. & R. NICKEL (1994): Analyse und Weiterentwicklung geohydraulischer und geophysikalischer Bohrlochtests für die Untersuchung von Deponie- und Altlastenstandorten Verbundvorhaben „Deponieuntergrund und Altlasten“ Forschungsbericht HGN Hydrogeologie GmbH, Nordhausen.

CHARDABELLAS, P.& K. THIEMER (1996): Normung der kf-Wert-Feldbestimmung durch Standardisierung der Korngrößenverteilungsdiagramme grundwasserhöflicher Lockergesteine Mitteilungen des Instituts für Wasserwirtschaft, 20, Berlin.

DUPRAT, A., SIMLER, L. & P. UNGEMACH (1970): Beitrag der geoelektrischen Erkundung zur Ermittlung der hydrodynamischen Kennwerte eines Grundwasserleiters aus: TERRES et EAUX.

ENGELHARDT, W. & H. PITZER (1951): Über Zusammenhänge zwischen Porosität, Permeabilität und Korngröße bei Sanden und Sandsteinen.

KNÖDEL, K., KRUMMEL, H. & G. LANGE (1997): Handbuch zur erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten Band 3 - Geophysikalische Beitrag: Geothermik s. 707-24 Springer Verlag Berlin, Heidelberg.

LUCKNER, L. & W. M. SCHESTAKO (1981): Migrationsprozesse im Boden- und Grundwasserbereich VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig.

STAJNIAK, J (1981): Possibilities of the Geothermal Method Vortrag: 26. Geophysikalisches Symposium, Leipzig.

Anschrift der Autoren:
 Dipl.-Geophys. Gerhardt Brandt
 Dipl.-Geophys. Christian Richter
 HGN Hydrogeologie GmbH
 Niederlassung Torgau
 Süptitzer Weg
 04860 Torgau

LANDESAMT

Aktualisierte Zweitaufgabe der KOR 300

VOLKER MANHENKE & MICHAEL PAWLITZKY

Im Juni 1998 wurde vom Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg (LGRB) die zweite überarbeitete Auflage der Karte der oberflächennahen Rohstoffe Steine und Erden des Landes Brandenburg im Maßstab 1 : 300 000 (KOR 300) herausgegeben (s. Abb.).

Diese Übersichtskarte ist im LGRB auf der Grundlage der 1997 weitgehend flächendeckend abgeschlossenen Kartierung der Steine- und Erdenrohstoffe im Maßstab 1 : 50 000 (KOR 50, s. MANHENKE u. a. 1997) entstanden und faßt sie in übersichtlicher Form zusammen. Vom Oberbergamt (OLB) wurde der Stand der Lagerstätten mit Bergbauberechtigung (Bergwerkseigentum, Bewilligungen) per 31.12.1997 beige-steuert. Die aufgeführten 366 Lagerstätten sind nach Kreisen geordnet und numeriert auf dem Kartenrand aufgelistet.

Die Rohstoffarten wurden wiederum untergliedert in:

- Kiessande
- sonstige Sande bis Kiessande
- Spezialsande (Glas- und Gießereisand)

- Ton
- Hartgestein
- Kalk
- Torf (nur bei staatlich bestätigter Vorratsberechnung).

Gegenüber der KOR 50 waren einige Generalisierungen erforderlich. Dennoch bietet die Karte einen guten Überblick über die derzeit lagerstättenkundlich bearbeitete und prognostizierte Verbreitung der oberflächennahen Rohstoffe Brandenburgs mit Ausnahme der Braunkohle und ohne Darstellung von für die oberflächennahe Erdwärmegewinnung geeigneten Schichten. Die KOR 300 bietet damit Informationen für die Landes- und Regionalentwicklung ebenso wie für Bergbauunternehmen der Steine-Erden-Industrie und für interessierte Bürger. Die Karte ist zum Preis von 40,- DM im LGRB zu beziehen.

Literatur:

PAWLITZKY, M. & W. LIERSCH (Redaktion): Karte der oberflächennahen Rohstoffe Steine-Erden des Landes Brandenburg 1 : 300 000. - LGRB in Zusammenarbeit mit dem OLB, Kleinmachnow 1998

MANHENKE, V., HÖDING, TH. & M. PAWLITZKY: Die Karte der oberflächennahen Rohstoffe im Maßstab 1 : 50 000 (KOR 50) für das Land Brandenburg - Rohstoffsicherung Steine und Erden. - Brandenburgische Geowiss. Beiträge 4 (1997), 1, S. 16-18, Kleinmachnow

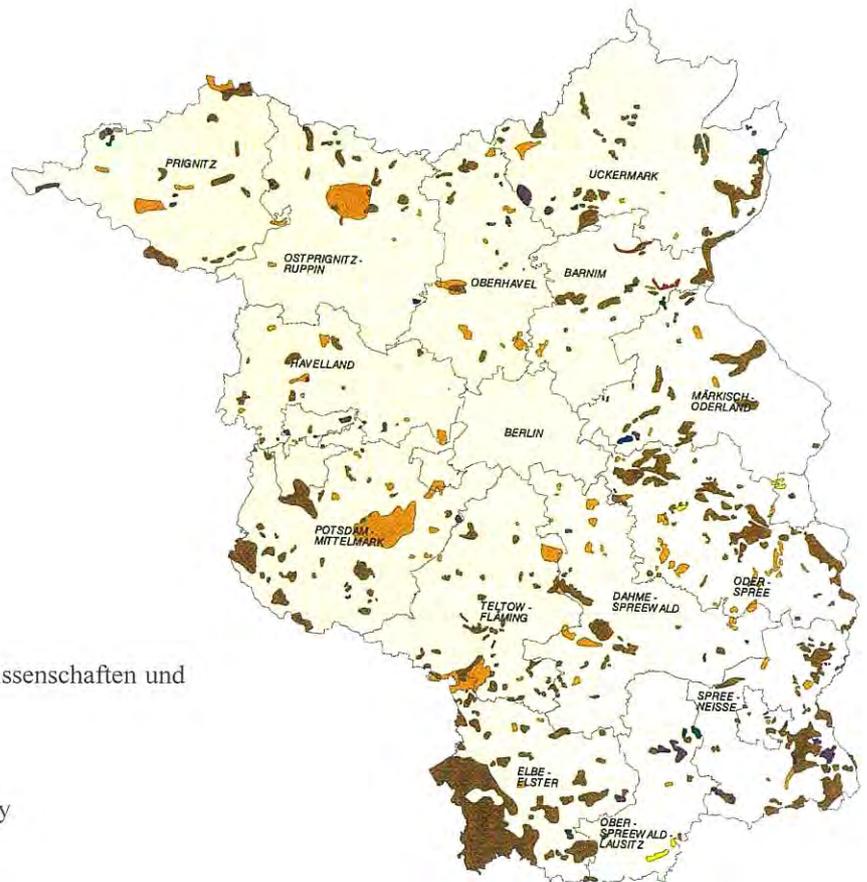


Abb. 1
Darstellung aus der KOR 300

Mitteilung aus dem Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg No. 114

Anschrift der Autoren:

Dr. Volker Manhenke & Michael Pawlitzky
Stahnsdorfer Damm 77
14532 Kleinmachnow

Brandenburgische Geowiss. Beitr.	Kleinmachnow	5 (1998), 1	S. 51 – 57	6 Abb., 1 Tab., 7 Lit.
----------------------------------	--------------	-------------	------------	------------------------

Methodische Fortschritte zur Untersuchung des Aufbaus und des Zustandes vorhandener Deichbauten

PETER KNOLL, RAINER HERBST & JOHANNES PREUSS

1. Einführung

Bei der Auswertung der Schadensbilder während und nach dem Oderhochwasser vom Sommer 1997 (KRÜGER 1997) wurde deutlich, daß vor allem ältere Deiche aus unterschiedlichen Baumaterialien und zum Teil auf wenig tragfähigem Untergrund errichtet wurden. Lokale Änderungen des Baumaterials bzw. der geotechnischen Materialeigenschaften im Deich und im Untergrund können aber zur Bildung von Schwachstellen und in der Folge zu Deichbrüchen führen. Während langanhaltender Hochwasser reduziert die zunehmende Durchnässung in Verbindung mit lithologischen Besonderheiten die Standsicherheit von Deichen und spielt eine entscheidende Rolle bei der Ausbildung von Deichbrüchen oder belastungsinduzierten Schwachstellen (KNOLL & LENDDEL 1998, DIETRICH 1997).

Nach der vordringlichen Sofortsicherung von offensichtlichen Bruchstellen steht mittelfristig die Kontrolle und die Schwachstellendiagnose an den vorhandenen Deichen an. Da allein im Lande Brandenburg über hundert Kilometer Deiche zu untersuchen sind, muß wie in der normalen geologischen Erkundung eine schnelle, flächendeckende Übersichtsmessung mit genaueren Untersuchungen an auffälligen

Abschnitten kombiniert werden. Im folgenden soll dargestellt werden, welche geophysikalischen Erkundungsverfahren dabei prinzipiell einsetzbar sind. Nach einer kurzen Übersicht über die einsetzbaren Verfahren wird eine kombinierte Geophysikalische Lockergesteins-Tomografie (KGLT) vorgestellt, mit der drei unabhängige geophysikalische Größen (Spezifischer elektrischer Widerstand, Ausbreitungsgeschwindigkeit der Längs- und der Scherwellen) und punktuelle Aussagen über den lithologischen Aufbau gewonnen werden können. Diese Verfahrenskombination eignet sich zur detaillierten Untersuchung auch größerer Deichabschnitte.

2. Geophysikalische Erkundungsverfahren zur Deichuntersuchung

Entsprechend des oben vorgeschlagenen zweistufigen Vorgehens wurde die allgemeine Aufgabenstellung „Untersuchung vorhandener Deiche“ in mehrere Einzelaufgaben unterteilt (Tab. 1). Als geeignete geophysikalische Parameter sind Bodeneigenschaften anzusehen, welche erfahrungsgemäß mit den interessierenden geologisch/geotechnischen Parametern gekoppelt und mit vertretbarem Aufwand meß-

Tab. 1
Vorgehen bei der Untersuchung vorhandener Deiche

Geologisch/geotechnische Fragestellung	Geeigneter geophysikalischer Parameter	Einsetzbare Methoden
Schnelle Übersichtsmessung zur flächendeckenden Untersuchung des Deiches auf Aufbau und Zustand	Spezifischer elektrischer Widerstand r Geschwindigkeiten seismischer Wellen v_p, v_s	2D-Widerstandstomografie mit großen Elektrodenabständen Common-Offset-Seismik von der Oberfläche
Detaillierte Untersuchung zur Erkundung des lithologischen Aufbaus	Spezifischer elektrischer Widerstand ρ Geschwindigkeit der Längswelle v_p	2D-Widerstandstomografie mit kleineren Elektrodenabständen Längswellen-Tomografie
Detaillierte Untersuchung zur Lokalisierung von Vernässungszonen	Spezifischer elektrischer Widerstand ρ Geschwindigkeit der Längswelle v_p	2D-Widerstandstomografie mit kleineren Elektrodenabständen Längswellen-Tomografie
Detaillierte Untersuchung zur Lokalisierung von Bereichen verminderter Festigkeitseigenschaften	Geschwindigkeit der Scherwelle v_s (Geschwindigkeit der Längswelle v_p)	Scherwellen-Tomografie Längswellen-Tomografie

bar sind. Das eingesetzte Meßverfahren muß in Abhängigkeit von der geforderten Auflösung und Meßgenauigkeit einerseits und von wirtschaftlichen Faktoren andererseits gewählt werden.

Der spezifisch elektrische Widerstand in Lockersedimenten wird vor allem von der Porosität und von der Porenfüllung bestimmt und kann zur Unterscheidung zwischen rolligen und bindigen Sedimenten sowie zwischen Bereichen mit unterschiedlichem Wassergehalt eingesetzt werden.

Nutzt man das einfache theoretische Modell eines homogenen und isotropen elastischen Mediums, kann man folgende Beziehungen zwischen den Geschwindigkeiten der seismischen Wellen und den elastischen Parametern aufstellen (DRESEN et al. 1985):

$$v_p = \sqrt{\frac{K + 4/3G}{\rho}} \quad v_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

- v_p - Geschwindigkeit der Längswellen
- v_s - Geschwindigkeit der Scherwellen
- K - Kompressionsmodul
- G - Schermodul
- ρ - Dichte

Diese theoretischen Beziehungen zeigen, daß die Geschwindigkeit der Scher- bzw. S-Wellen v_s vom Schermodul abhängt und damit eher ein Maß für den Scherwiderstand des Gesteins darstellt. Die Geschwindigkeit der P- oder Längswellen v_p hängt dagegen sehr stark vom Kompressionsmodul ab, welcher z. B. bei Flüssigkeiten ohne jede Scherfestigkeit sehr hoch sein kann. In der Praxis wird dieses durch den sprunghaften Anstieg der Längswellengeschwindigkeiten bei Erreichen der vollständigen Wassersättigung (SCHÖN 1983) bestätigt. Aus der Kombination Spezifischer Elektrischer Widerstand - Längswellengeschwindigkeit können Änderungen im Wassergehalt sehr deutlich abgelesen werden, wobei die Längswellengeschwindigkeit vor allem die vollständige Wassersättigung und damit den Verlust der scheinbaren Kohäsion in Lockergesteinen markiert.

Für die Abschätzung der mechanischen Eigenschaften ist die Scherwellengeschwindigkeit zu bevorzugen, da die Teilchenbewegung quer zur Ausbreitungsrichtung erfolgt und die Energieübertragung stärker von den Bedingungen an den Grenzflächen zwischen den Gesteinskörnern abhängt. Wegen der oben geschilderten Abhängigkeit der Längswellengeschwindigkeit von der Wassersättigung ist diese nur mit gewissen Einschränkungen zur Abschätzung von mechanischen Eigenschaften nutzbar und in Tabelle 1 in Klammern gesetzt.

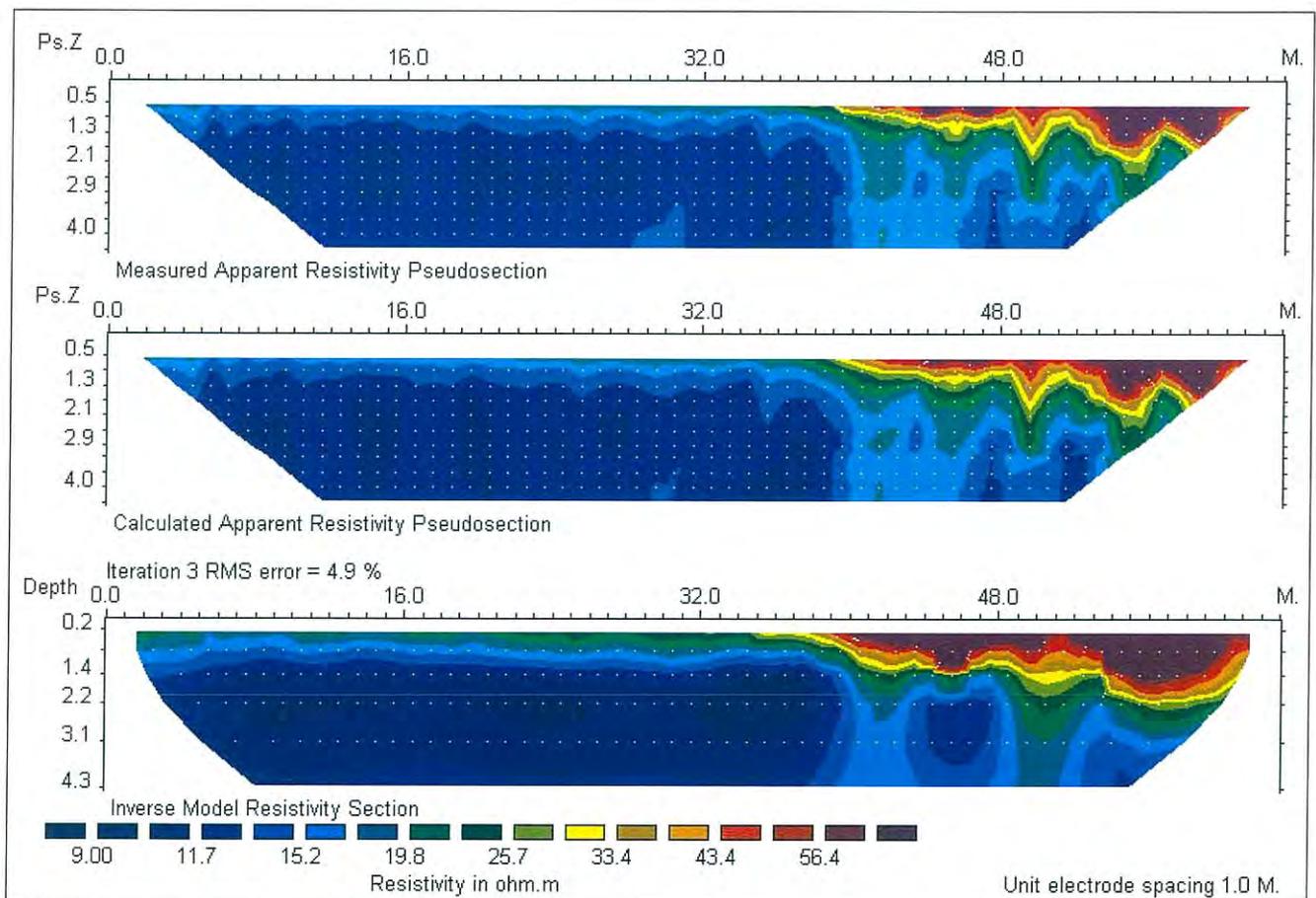


Abb. 1

2D-Geoelektrik, Meßbeispiel. Die gemessenen Scheinwiderstände (oben) werden mit den für ein Modell (unten) berechneten Scheinwiderständen (Mitte) verglichen. Im rechten Drittel des Profils überdeckt eine künstliche Aufschüttung mit grobkörnigen Anteilen den gewachsenen, feinkörnigen Boden.

Faßt man die drei Aufgabenstellungen, die im Rahmen der Detailerkundung zu lösen sind, zusammen, erscheint die Verknüpfung hochauflösender Meßmethoden zur Bestimmung der drei Parameter ρ , v_p und v_s als logische Konsequenz. Die KGLT stellt eine solche Kombination, abgestimmt auf den Einsatz in Lockergesteinen, dar. Kernstück dieses Verfahrens

einer Auffüllung mit grobkörnigen Anteilen (Widerstände größer 30 Ohm m, ab Profilmeter 40) deutlich zu erkennen. Normalerweise werden in trockenen, sandigen Aufschüttungen Widerstände von 100 Ohm m und mehr erreicht, so daß im dargestellten Beispiel von einem erhöhten Feinkornanteil in der Aufschüttung auszugehen ist.

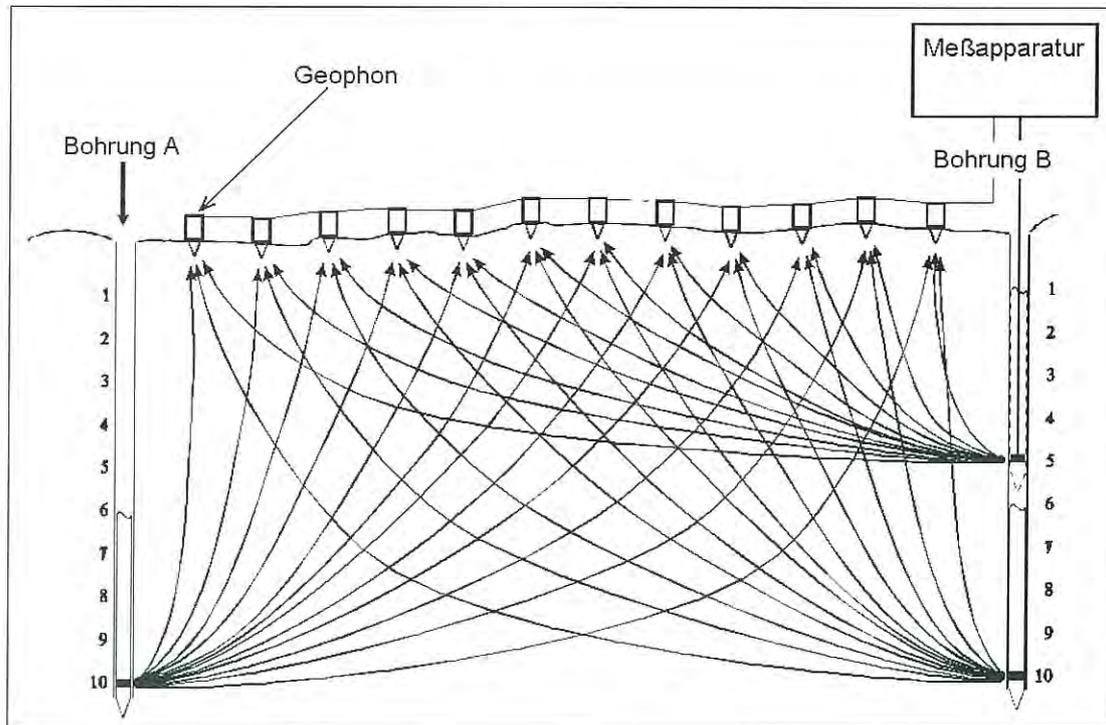


Abb. 2

Meßschema für eine mehrfachüberdeckte seismische Durchschallung. Die Quelle wird in verschiedener Tiefe in den Bohrungen A und B gezündet. Die Geophone zeichnen die seismischen Wellen an der Oberfläche zwischen den Bohrungen auf.

ist eine noch in der Entwicklung befindliche Scherwellen-Laufzeitomografie, die seit Frühjahr 1998 für Messungen an realen Objekten zur Verfügung steht. Zur KGLT gehören weiterhin die 2D-Widerstandstomografie und eine Längswellen-Laufzeitomografie.

Die 2D-Widerstands-Tomografie wird seit einigen Jahren routinemäßig in der Ingenieur- und Hydrogeologie eingesetzt und ist beispielsweise von BRANDT & RICHTER (1997) beschrieben worden. Wählt man die Elektrodenabstände nicht zu klein (z. B. 2 m), kann man mit moderner Meß- bzw. Rechentechnik auch längere Profile zügig vermessen. Für die detaillierten Untersuchungen muß der Elektrodenabstand auf die geforderte räumliche Auflösung abgestimmt werden, es empfehlen sich Abstände von 1 m oder weniger. Durch Kombination von langen Profilen längs der Deichkrone bzw. des Deichfußes mit kurzen Profilen quer zur Deichachse kann man auch dreidimensionale Modelle des Deiches ableiten. Abbildung 1 zeigt das Ergebnis einer 2D-Widerstandstomografie auf einer Bergbaubruchfläche im Ruhrgebiet. Im Widerstandsmodell (unterer Teil der Abbildung) ist der Übergang von einem ungestörten Bodenbereich mit feinkörnigen Sedimenten (elektrischer Widerstand kleiner 20 Ohm m) zu

Im folgenden sollen die einzelnen Meßverfahren ohne Anspruch auf erschöpfende Behandlung aller Einzelheiten beschrieben werden, wobei der Schwerpunkt auf der KGLT liegt.

3. Common-Offset-Seismik

Bei diesem einfachen Meßverfahren werden eine seismische Energiequelle und eine geringe Anzahl von Empfängern (Geophonen) in konstantem Abstand (Offset) zueinander über die Meßfläche bewegt. Der erfaßte Tiefenbereich wird durch die Wahl des Offsets, also des Abstandes zwischen Quelle und Empfänger, festgelegt. Faßt man die Aufzeichnungen für alle Meßpunkte entlang einer Linie zusammen, werden relative Änderungen der Geschwindigkeiten und eventuell Schichtgrenzen in nicht allzu großer Tiefe sichtbar. Auf Grund dieser rein qualitativen Auswertung können dann Anomalien, d. h. auffällige Bereiche, für weitere Untersuchungen festgelegt werden.

4. Kombinierte Geophysikalische Lockergesteins-Tomografie

Ziel des Verfahrens ist es, durch Bestimmung von drei unabhängigen Parametern den Informationsgehalt der Ergebnisse zu verbessern und gleichzeitig eine hohe räumlich Auflösung

zu gewährleisten. Neben der bereits beschriebenen 2D-Widerstandstomografie, die von der Erdoberfläche aus eingesetzt wird, sollen die Geschwindigkeiten der seismischen Wellen durch tomografische Inversionsverfahren bestimmt werden. Diese Inversionsverfahren basieren auf der Durchstrahlung des Untersuchungsobjektes aus verschiedenen Richtungen.

wenigen Strahlen durchquert, jedoch kann man durch Anregung in einer Bohrung in der Deichmitte die Überdeckung auf das erforderliche Maß steigern. Durch Zusammensetzen von Aufstellungen wie in Abbildung 2 mit kurzen Querprofilen (s. Abb. 3) wird die Ableitung von 3D-Modellen des Deiches und seines Untergrundes möglich.

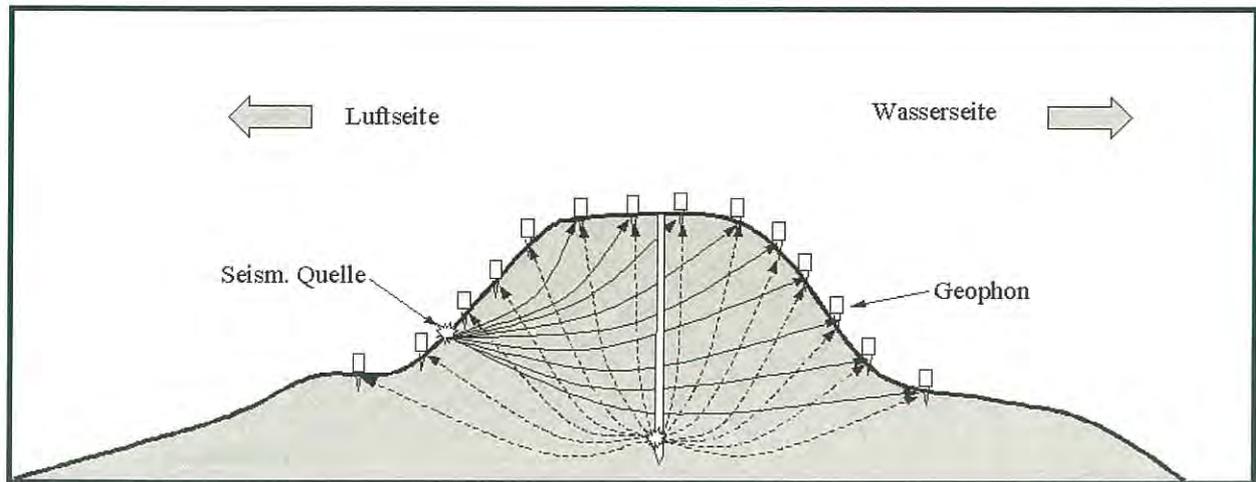


Abb. 3

Mögliches Meßschema für die Untersuchung eines Deichquerschnitts. Die Empfänger (Geophone) werden quer zur Deichachse auf der Oberfläche verteilt. Im Bild ist nur eine Quellposition an der Oberfläche gezeigt, je nach Anforderung werden die Anregungspunkte gleichmäßig an der Oberfläche verteilt und eventuell durch Anregung in einer zentralen Bohrung ergänzt.

Dabei soll jeder Punkt von mehreren Strahlen aus möglichst allen Richtungen durchlaufen werden. Anders als in der Medizin kann in der Geophysik nur selten eine Durchstrahlung von allen Seiten erfolgen, man muß sich also mit mehr oder weniger vollständigen Beobachtungssystemen behelfen, bei deren Planung ökonomische Überlegungen eine wichtige Rolle spielen. In Abbildung 2 ist eine Variante der Datenaufnahme gezeigt, bei welcher die Aufnehmer (Geophone) auf der Erdoberfläche zwischen zwei Bohrungen platziert werden. Die Anregung der seismischen Wellen erfolgt in verschiedener Tiefe in den Bohrungen. Diese Anregungsart ist zu bevorzugen, da mehr hochfrequente Signalenergie angeregt wird und damit die räumliche Auflösung verbessert wird. Gleichzeitig werden die wichtigsten Störsignale, die Oberflächenwellen, unterdrückt. Die Überdeckung und damit die Zuverlässigkeit der Ergebnisse nimmt mit der wachsenden Tiefe und Entfernung von den Bohrungen ab. Bei der Versuchsplanung müssen also Bohrtiefe und Abstand zwischen den Bohrungen entsprechend der Aufgabenstellung festgelegt werden.

In Abbildung 3 ist eine weitere mögliche Versuchsanordnung skizziert, die ohne Bohrungen auskommt. Die Geophone werden quer zur Deichachse an der Oberfläche aufgestellt. Die Quelle "wandert" durch die Geophonauslage, d. h. die Anregung erfolgt an verschiedenen Positionen auf der Deichoberfläche. Von Vorteil ist, daß die Messungen praktisch zerstörunglos erfolgen, dafür müssen eine etwas geringere räumliche Auflösung und Schwierigkeiten in der Datenbearbeitung durch starke Oberflächenwellen in Kauf genommen werden. Wieder wird der untere Teil des Deiches nur von

Zur Bestimmung der Wellengeschwindigkeiten wird die Laufzeit, d. h. die Zeit, in welcher die Welle von der Quelle auf ihrem mehr oder weniger stark gebogenen Laufweg bis zum Empfänger benötigt, gemessen, daher die Bezeichnung "Laufzeittomografie". Prinzipiell ist es möglich und wünschenswert, die Amplituden der aufgezeichneten Wellen in die Inversion mit einzubeziehen, jedoch steigt dabei der Bearbeitungsaufwand unproportional.

Während die Laufzeiten der schnelleren Längswellen relativ einfach bestimmt werden können, sind die Scherwellen durch die Überlagerung mit den Längswellen schlechter in den Aufzeichnungen zu erkennen. Bisher wurden deshalb zeit- und arbeitsaufwendige Verfahren zur gezielten Anregung von Scherwellen eingesetzt. Mit neuentwickelten Spezialgeophonen ist es möglich, die Scherwellen bei der Aufzeichnung von den Längswellen zu trennen, so daß in **einem Arbeitsgang sowohl Längs- als auch Scherwellen** aufgezeichnet werden können.

Ein weiterer wichtiger Schritt auf dem Weg zum praktischen Einsatz der Laufzeittomografie stellt die Verfügbarkeit von einfach zu handhabenden Bohrlochquellen für Bohrungen kleiner Durchmesser dar. In Abbildung 4 ist eine solche Quelle (IBS-36 von Geo-Meßtechnik Bad Salzdetfurth) zu sehen, die in ein Rammkernsondiergestänge (36 mm) integriert werden kann. Dadurch sinken sowohl die Kosten für die Bohrarbeiten als auch die am Untersuchungsobjekt entstehenden Schäden. Gleichzeitig können die geophysikalischen

Arbeiten mit einer Rammkernsondierung und der geologische Beschreibung der durchbohrten Sedimente verbunden werden.

Die **geophysikalische Inversion** der anfallenden Datenmengen stellt hohe Anforderungen an die Rechenleistung und die graphischen Möglichkeiten der eingesetzten Hard- und Software, die bis vor wenigen Jahren nur mit entsprechend teuren Rechnersystemen zu befriedigen waren. Erst durch die enorme Leistungssteigerung und den Preisverfall auf dem Gebiet der Personalcomputer und Workstation kann das vorgestellte Verfahren mit wirtschaftlichem Effekt angewendet werden.

dargestellten Meßschema, d. h. in vier Rammkernsondierungen wurde mit Hilfe der IBS-36 angeregt. An der Erdoberfläche wurden 40 Vertikalgeophone um die jeweils aktive Sondierung aufgestellt. Der Abstand zwischen den Bohrungen betrug 20 m, zwischen den Geophonen < 1 m und zwischen den Anregungspunkten in den Bohrungen $< 0,5$ m. Gemessen wurde in quartären Lockergesteinen (Sande, Geschiebemergel) in einem Gebiet südlich von Berlin. Die Geschwindigkeitsverteilung zeigt eine deutliche Differenzierung der Lockergesteine, Zonen hoher Geschwindigkeiten (0,5-1,0 km/s) können von Zonen mit niedrigen Geschwindigkeiten (0,2-0,5 km/s) unterschieden werden.

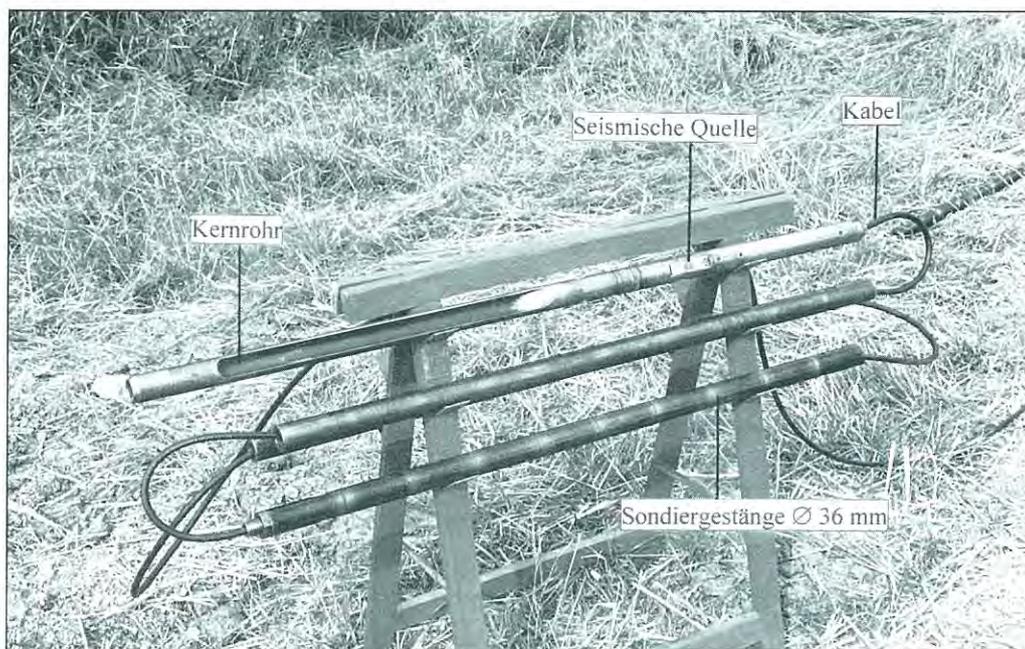


Abb. 4

Seismische Quelle IBS-36, eingebaut in eine Rammkernsonde (Ø 36 mm). Die Steuerung und Energieversorgung erfolgen durch Kabel von der Erdoberfläche. Mit freundlicher Genehmigung durch Geo-Meßtechnik Bad Salzdetfurth.

Die ersten Schritte zur Inversion, d. h. die Kontrolle und Bearbeitung der aufgezeichneten Daten bis hin zur Laufzeitbestimmung der P- bzw. S-Welle (Abb. 5) erfolgt mit einem der üblichen Programmpakete zur Bearbeitung seismischer Daten. Wichtig ist, daß diese Software über ausreichende Möglichkeiten zur interaktiven Datenbearbeitung verfügt, um eine ständige Kontrolle durch einen erfahrenen Bearbeiter zu gewährleisten. Bei der Laufzeitbestimmung durch rein automatische Verfahren können unvermeidbar große Fehler auftreten.

Als nächster Schritt erfolgt die Berechnung der Geschwindigkeitsverteilung durch tomografische Inversionsverfahren. Meist werden iterative Verfahren bevorzugt, bei denen das Geschwindigkeitsmodell immer besser an die gemessenen Laufzeiten angepaßt wird. Wieder ist die Interaktion zwischen der Software und dem Bearbeiter bei der Wahl der Modellparameter und bei Entscheidung zum Abbruch der Berechnungen nach einer bestimmten Anzahl von Iterationen wichtig.

Abbildung 6 zeigt das Resultat einer Laufzeittomografie für die Längswellen. Gearbeitet wurde nach dem in Abbildung 2

Auf Grund von Erfahrungswerten und Literaturdaten (z. B. SCHÖN 1969) können Regeln für die qualitative Interpretation festgelegt werden, z. B. sprechen hohe Längswellen-Geschwindigkeiten und niedrige Widerstände für eine wasser-gesättigte Zone. Werden in dieser Zone geringe Scherwellen-Geschwindigkeiten festgestellt, muß mit einer "Aufweichung" und einer entsprechend verringerten Standfestigkeit gerechnet werden. Die KGLT bietet zusätzlich die Möglichkeit, die Interpretation punktuell an den Kernen der Rammkernsondierungen zu verifizieren. Gerade diese Kombination aus punktuellen geologischen Aufschlüssen und den berechneten Verteilungen mehrerer geophysikalischer Parameter stellt einen der wichtigsten Vorzüge des genannten Verfahrens dar.

Von vielen Autoren (z. B. MILITZER et al. 1986) wird auf die Schwierigkeiten hingewiesen, eine allgemeingültige Korrelation zwischen den geophysikalisch bestimmten Bodenparametern einerseits und den mit herkömmlichen Verfahren unter statischen Bedingungen (Lastplattenversuch etc.) be-

stimmten bodenmechanischen Eigenschaften andererseits abzuleiten. Deshalb muß man sich für die quantitative Interpretation, d. h. die Berechnung von bodenmechanischen Parametern aus den geophysikalischen Werten, mit empirischen Beziehungen behelfen. Diese Beziehungen gelten jedoch nur unter bestimmten Bedingungen und weisen immer gewisse Schwankungsbreiten auf.

Im Falle einer Deichuntersuchung verbessern sich Möglichkeiten der quantitativen Interpretation durch die Zugehörigkeit des Materials zu einer begrenzten Anzahl von Bodenarten (Lockersedimente mit unterschiedlichen Anteilen an bindigem und organischem Material), durch die relativ konstanten Lagerungsbedingungen (künstliche Aufschüttungen ohne nachfolgende Überdeckung mit anderen Sedimenten) und durch die bereits erwähnten Zusatzinformationen aus den Rammkernsondierungen. Im Rahmen von Testmessungen an realen Objekten muß geklärt werden, ob die so bestimmten Werte, eventuell unter Berücksichtigung eines additiven Sicherheitselementes, als Bemessungswert für Standsicherheitsberechnungen (z. B. KNOLL & LENDEL 1998) genutzt werden können.

5. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Mit der Entwicklung neuer und kleiner Scherwellenquellen und Scherwellengeophonen sind für die Untersuchung des oberflächennahen Untergrundes mit Scherwellenseismik neue Möglichkeiten eröffnet worden. Es wird ein Verfahren vorgestellt, mit dessen Hilfe durch seismische Tomografie mit kombinierten Scher- und Transversalwellen-Durchschallungen Informationen über den Aufbau und näherungsweise

über die bodenmechanischen Eigenschaften (z. B. Schermodul) oberflächennaher Bodenbereiche Aufschluß gewonnen werden können. Dazu wird um eine Scherwellenquelle ein Raster aus P- und S-Wellengeophonen angeordnet und die entsprechenden Laufzeitenverteilungen können für unterschiedliche Quellentiefen aufgezeichnet werden. Auf der Grundlage theoretischer Analysen wird eine Auswertesoftware entwickelt und damit Aufschluß über die Verteilung der Schermoduln und der Dichteverteilung im Untergrund erreicht.

Bei Anwendung dieses Verfahrens auf Deichbauwerke kann ohne wesentliche Eingriffe in das Dammbauwerk selbst relativ rasch der stoffliche Aufbau und der geotechnische Zustand eines Dammschnittes abgeschätzt werden. Wenn das Verfahren von Deichabschnitten mit bekannten Verhältnissen ausgeht, kann so relativ rasch eine Einteilung des Deiches in Bereiche mit unterschiedlichen Festigkeitszuständen vorgenommen und somit Bereiche mit vorrangigem Sanierungsbedarf ermittelt werden.

Für die Schwachstellendiagnose an den über hundert Kilometer langen Flußdeichen im Lande Brandenburg müssen schnelle, flächendeckende Verfahren (2D-Widerstandstomografie, Common-Offset-Seismik) mit genaueren Untersuchungen an auffälligen Abschnitten kombiniert werden.

Mit der Kombinierten Geophysikalischen Lockergesteinstomografie (KGLT) bietet sich die Möglichkeit, auch größere Deichabschnitte zu erkunden und zu bewerten. Die KGLT umfaßt die 2D-Widerstandstomografie mit geringen Elektrodenabständen (1 m) und eine Verbindung aus Längswellen- und Scherwellen-Laufzeitomografie. Für die seis-

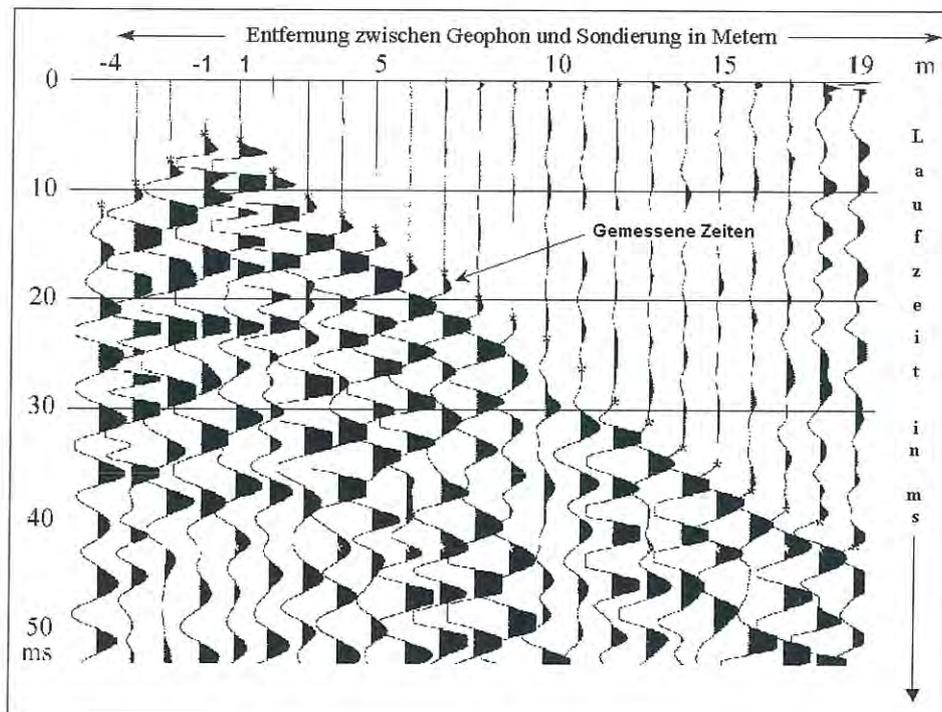


Abb. 5

Beispiel für eine seismische Aufzeichnung. Mit wachsender Entfernung vom Bohrlochmund (horizontale Achse) wachsen auch die Laufzeiten. Gemessen wurden die mit kleinen Sternen gekennzeichneten Laufzeiten der direkten P-Welle.

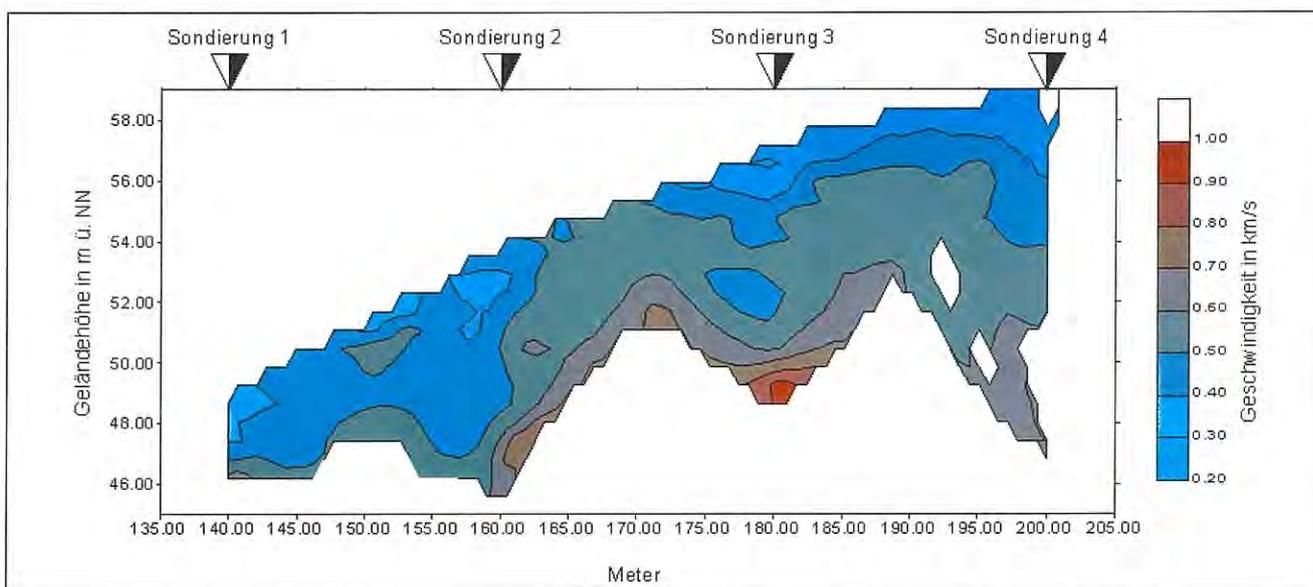


Abb. 6

Ergebnis der tomografischen Inversion der P-Wellen-Laufzeiten. Erkennbar ist die deutliche Differenzierung der anstehenden eiszeitlichen Lockergesteine in Bereiche niedriger (0,2 - 0,5 km/s) und hoher (0,5 - 1,0 km/s) Geschwindigkeiten.

mischen Messungen werden neuentwickelte Bohrlochquellen für kleine Bohrlöcher und spezielle Geophone zur getrennten Aufzeichnung von Längs- und Scherwellen genutzt.

Durch die Verknüpfung dreier, voneinander unabhängiger geophysikalischer Werte mit den punktuellen Aussagen von Rammkernsondierungen steigt die Aussagekraft der Ergebnisse deutlich und es können Zonen mit möglichen Standfestigkeitsproblemen lokalisiert werden. Die Entwicklung der angepaßten Meßtechnik ist praktisch abgeschlossen, so daß bereits im Frühjahr 1998 Testmessungen an realen Objekten durchgeführt werden können.

6. Danksagung

Der Kern der Forschungsarbeiten ist als Fördervorhaben 97294590F im Rahmen der Produkt- und Verfahrensinnovation beim MWMT Brandenburg beantragt. Ein Teil der Forschungsarbeiten wurde in Kooperation mit der Universität Potsdam durchgeführt. Wir danken Frau Dr. E. Lück und vor allem Herrn Dr. M. Eisenreich für die gute Zusammenarbeit. Herrn Dr. H.A.K. Edelman (Hannover) und Herrn E. Nolte (GEO-MESSTECHNIK Bad Salzdetfurth) sei für die Anregungen und die Unterstützung während der praktischen seismischen Messungen und der Datenbearbeitung gedankt.

Literatur

BRANDT, ST. & CH. RICHTER (1997): Komplexe geophysikalischer Untersuchungen zum Aufbau von Flußdeichen und deren Vorländer.- Vortrag, gehalten auf der 6. Fachtagung des Landesamtes für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg zum Thema „Ingenieurgeologische Beiträge Standsicherheit von Flußdeichen“ am 28.10.1997 in Potsdam, s. dieses Heft, S. 43

DIETRICH, R. A. (1997): Numerische Modellierung von Sickerwasserströmungen in gesättigten und ungesättigten Deichregionen zur Beurteilung der Standsicherheit von Deichen. - Vortrag, gehalten auf der 6. Fachtagung des Landesamtes für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg zum Thema „Ingenieurgeologische Beiträge zur Standsicherheit von Flußdeichen“ am 28.10.1997 in Potsdam.

DRESEN, L., GEBRANDE, H., HARIJES, H.-P., HUBRAL, P. & H. MILLER (1985): Seismische Verfahren. Angewandte Geowissenschaften, Bd. II, herausgegeben von F. Bender. S. 156-298, Stuttgart (Enke)

KRÜGER, F. (1997): Schadensbilder und Deichverteidigung während der Hochwassersituation 1997 an der Oder. - Vortrag, gehalten auf der 6. Fachtagung des Landesamtes für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg zum Thema „Ingenieurgeologische Beiträge zur Standsicherheit von Flußdeichen“ am 28.10.1997 in Potsdam, s. dieses Heft, S. 15

MILITZER H., SCHÖN, J. & U. STÖTZNER (1986): Angewandte Geophysik im Ingenieur- und Bergbau. - 419 S., Leipzig (VEB Deutscher Verlag der Grundstoffindustrie)

SCHÖN, J. (1969): Die Ausbreitungsgeschwindigkeiten elastischer Wellen in Lockerböden und ihre Beziehung zu bodenmechanischen Kennwerten. - Freiburger Forschungsheft C 250, Leipzig (VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie) - (1983): Petrophysik. Physikalische Eigenschaften von Gesteinen und Mineralen. - 405 S., Stuttgart (Enke)

Anschrift der Autoren:

Prof. Dr. Peter Knoll
Dipl.-Ing. Rainer Herbst
Dipl.-Geophys. DJohannes Preuß
GEO-DYN Gesellschaft für geophysikalisches Messen und geotechnische Untersuchungen mbH
Potsdamer Straße 18 A
14513 Teltow



Horst Niederstraßer

* 1. Juni 1940

† 5. Juli 1998

Am 5. Juli verstarb in Bad Saarow der langjährige Mitarbeiter des Landesamtes für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg, unser verehrter Kollege Horst Niederstraßer.

Geboren am 1. Juni 1940 in Berlin und aufgewachsen in einer schweren Zeit der Not und Entbehrung erlernte er den Geologenberuf von Grund auf, denn sein Werdegang begann bei dem Geologischen Dienst Mitte in Berlin mit der Ausbildung zum Facharbeiter für Geologie. Dieser praktischen Tätigkeit folgte ein Studium an der Ingenieurschule Zwickau, das er als Geologieingenieur abschloß. Nach einer kurzzeitigen Tätigkeit im Braunkohlentagebau Sedlitz im Niederlausitzer Revier wechselte er 1961 zum Rat des Bezirkes Cottbus, um dort als einer der Gründungsmitarbeiter mitzuhelfen, eine funktionsfähige Regionalbehörde, die spätere Bezirksstelle für Geologie Cottbus, aufzubauen. Seiner Ausbildung gemäß beschäftigte er sich vorwiegend mit ingenieurgeologischen Fragestellungen. Diesen räumlichen und fachlichen Bezug seiner Arbeit konnte er trotz mancher Umstrukturierung und Umbenennung dieser Behörde und auch mit der Übernahme dieser Struktureinheit als Außenstelle Cottbus des Landesamtes für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg während seines gesamten weiteren Berufslebens beibehalten. Die Qualifikation zum Dipl.-Ing. für Ingenieurgeologie erwarb er sich auf dem nicht ganz einfachen Weg eines berufsbegleitenden Fernstudiums an der Bergakademie Freiberg. Nicht allein nur der skizzenhaft dargestellte berufliche Werdegang war Grundlage dafür, daß sich Horst Niederstraßer eine profunde Kenntnis der regionalen Geologie der Lausitz aneignen konnte. Es waren vor allem sein Fleiß und seine Beharrlichkeit, die ihm den Ruf als einen der besten Kenner der Geologie Südbrandenburgs einbrachte.

Horst Niederstraßer hat sich mit ingenieurgeologischen Bewertungen in der Region Cottbus bleibende Verdienste erworben. Nahezu alle in den 70iger und 80iger Jahren angefertigten ingenieurgeologischen Gutachten für Ortsbebauungspläne stammen aus seiner Feder und sind auch für die aktuellen Aufgaben des Landesamtes für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg als Träger öffentlicher Belange hoch aktuell. Vor allem sind die vielen z.T. schon 25 Jahre alten Einzelgutachten dank seiner akribischen Arbeitsweise noch heute verwendbar. Frühzeitig erkannte er die Bedeutung organogener geologischer Bildungen für die Bewertung des Baugrundes und daraus abzuleitender bautechnischer Lösungen. Er wies in seinen Stellungnahmen

und Gutachten ständig auf die Berücksichtigung dieser Inhomogenitäten des Baugrundes bei der Berechnung von Lastsetzungen von Bauwerken, vor allem aber auch auf Eigenkonsolidierungen dieser Gebäude durch Grundwasserabsenkungen des Braunkohlenbergbaues hin. Zahlreiche Bauschäden hätten verhindert werden können bei Beachtung dieser Hinweise. Noch heute werden auch bei Rechtsstreitigkeiten um die Anerkennung von Schadensersatzansprüchen bei Bauschäden die gutachterlichen Aussagen von Horst Niederstraßer als Beweismittel herangezogen. Neben seiner vorwiegend auf konkrete Vorhabensbewertung ausgerichteten ingenieurgeologischen Stellungnahmen begann Horst Niederstraßer fast im Alleingang den Aufbau einer Datenbank über das Vorkommen organogener Sedimente in oberflächennahen geologischen Bildungen. Diese teilweise auch mit ^{14}C -Datierungen ausgestattete Datensammlung gilt es in seinem Sinne weiterzuführen, da sie für die modernen Kartierungsaufgaben des LGRB von Bedeutung sein wird.

Als bereits eine heimtückische Krankheit in seinen Lebensrhythmus eingegriffen hatte und seine physische Leistungsfähigkeit einschränkte, arbeitete er mit verbissenem Fleiß an der Aufarbeitung von Daten zur kartenmäßigen Darstellung bauwürdiger Braunkohlenvorkommen Brandenburgs außerhalb der gegenwärtigen Abbaufelder, wohl auch, um aus dem eigenen Arbeitsergebnis immer wieder neue Kraft zu schöpfen, die Krankheit zu besiegen. Diesem Kampf unterlag er, bis zum Ende auf Genesung hoffend schließlich am 5. Juli 1998.

Die Mitarbeiter des Landesamtes für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg verneigen sich in Ehrfurcht und Dankbarkeit vor den Leistungen und dem Lebensmut des Verstorbenen, aber auch vor seiner Kollegialität und Hilfsbereitschaft. Einige Mitarbeiter der Außenstelle Cottbus des Landesamtes haben mit Horst Niederstraßer z.T. mehr als 25 Jahre zusammengearbeitet. Die jüngeren Kollegen fanden stets Rat und Unterstützung und konnten an seiner reichen Erfahrung als Ingenieurgeologe und seinen exzellenten regionalgeologischen Kenntnissen partizipieren. Offenheit, Kollegialität und Hilfsbereitschaft besaßen im Leben von Horst Niederstraßer stets einen hohen Stellenwert.

Wir werden das Andenken an den Verstorbenen und seine Leistungen mit und für die Ingenieurgeologie sowie Regionalgeologie stets in Ehren halten.

P. Nestler

Brandenburgische Geowiss. Beitr.	Kleinmachnow	5 (1998), 1	S. 59 – 63	5 Abb., 1 Tab., 4 Lit.
----------------------------------	--------------	-------------	------------	------------------------

Die Auswertung von Fernerkundungsdaten zur Deichzustandseinschätzung

FRIEDRICH KÜHN & FRITZ BROSE

1. Einführung

Die Fernerkundung nutzt Sensoren in Flugzeugen und Satelliten zum Erkunden, Beobachten und Bewerten geländebezogener Sachverhalte. Fernerkundungssysteme besitzen die Fähigkeit zur synoptischen Erfassung des generellen Zustandes und von typischen Merkmalen größerer Geländebereiche. Damit trägt die Auswertung von Fernerkundungsdaten zur Klärung von geländebezogenen Sachverhalten bei, bei denen die generalisierende Sicht aus der Position eines Flugzeuges oder Satelliten die Erfassung und Beschreibung der betreffenden Fragestellung erleichtert oder überhaupt erst ermöglicht.

Ein weiterer Vorteil von Fernerkundungsmethoden ist die Anwendbarkeit zur Erkundung von nicht oder nur begrenzt zugänglichen Regionen. Hier ist die Akquisition von Daten auch dann noch möglich, wenn die Begehung eines Geländes auf Grund bestehender Gefahrenpotentiale nicht mehr zu verantworten ist.

Entsprechende Ansätze für die Nutzung von Fernerkundungsdaten sind bei der Erkennung und Bewertung potentieller Problembereiche an Fluß- und Meeresdeichen gegeben. Fern-

erkundungsdaten sind des weiteren ein sehr effizientes Mittel für die Überwachung des zeitlichen und räumlichen Verlaufes von Hochwassersituationen.

2. Methodisch-technische Aspekte

Während ein bodengebunden arbeitender Kartierer lediglich seinen jeweiligen Standort übersieht, erfassen satelliten- und flugzeuggestützte Verfahren mit jeder einzelnen Aufnahme einen größeren Geländeabschnitt. In Abhängigkeit von den räumlichen Auflösungseigenschaften der eingesetzten Sensoren, kann ein einzelner Datensatz Flächen von Bruchteilen eines Quadratkilometers (Luftbilder) bis regionaler Ausdehnung (Satellitenbilder) abdecken.

Häufig genutzte Fernerkundungssysteme sind in Tabelle 1 als Übersicht dargestellt. Flugzeug- und Satelliten-sensoren registrieren entsprechend ihrer jeweiligen technischen Konfiguration die an der Geländeoberfläche reflektierte Sonnenstrahlung (Luft- und Satellitenbilder im sichtbaren und nahen infraroten Bereich), von der Erdoberfläche abgegebene oder emittierte Strahlung (Thermalfernerkundung) sowie re-

Tab. 1

Zusammenstellung häufig genutzter Fernerkundungssysteme (vgl. ALBERTZ 1991, KÜHN & HÖRIG 1995)

System/ Betreiberland	Träger	Aufnahmeprinzip	Fläche eines Bildes	Bodenauflösungs- element (Pixel)
Landsat Thematic Mapper / USA	Satellit	Scanner (multispektral)	180 km x 180 km	30 m x 30 m 120m x 120m thermal
Spot/Frankreich	Satellit	Scanner (multispektral und panchromatisch)	117 km bzw. 60 km Geländestreifen	20 m x 20 m 10 m x 10 m
IRS-1C/Indien	Satellit	Scanner (multispektral und panchromatisch)	142 km bzw. 70 km Geländestreifen	5,8 m x 5,8 m
ERS-1/EU	Satellit	Radarsensor	80 km Geländestreifen	12,5 m x 12,5 m
Meßkammer	Flugzeug	Photokamera	z.B. 4,6 km x 4,6 km für 3 km Flughöhe, 150 mm Brennweite	besser 50 cm
Thermalscanner	Flugzeug	Scanner	500 bis 1500m Geländestreifen (system- und flughöhenabhängig)	2,5 bis 5 m (system- und flughöhen- abhängig)

flektierte Strahlung, welche zuvor von sogenannten aktiven Sensoren auf die Geländeoberfläche eingestrahlt wurde (Radarfernerkundung).

Die Reflexion, Absorption und Emission elektromagnetischer Strahlung ist struktur- und materialabhängig. Damit bilden sich stoffliche und strukturelle Eigenschaften eines Geländes in den von Fernerkundungssensoren gelieferten Daten und Bildern ab. Das sind zum Beispiel typische Gelände-merkmale für die Existenz von tektonischen Störungen, Kluftsystemen sowie für das Vorkommen und die Verbreitung von Gesteins- und Bodenarten. Die für die jeweiligen thematischen Zielstellungen relevanten Bildinformationen sind in einfachen Fällen direkt erkennbar. In der Regel ist aber Interpretationserfahrung und technische Unterstützung erforderlich, um die gewünschten Informationen zu erhalten.

Im Falle der Oderdeiche interessieren in erster Linie die Eigenschaften der liegenden Bodensubstrate. Diese bestimmen maßgeblich die Baugrundeigenschaften des Deichuntergrundes. Das untere Odertal hat den Charakter einer ehemaligen Auenlandschaft mit ständig wechselnden mäandrierenden Flußläufen und typischen Ablagerungen, hauptsächlich

- **Sande/Kiese** in den ehemaligen Uferwällen und Erosionsrumpfen glazifluvialer Terrassen,
- **Torfe/ Mudden** in vermoorten Seen und Altarmen (Stagnationsphasen),
- **Auelehme**, die ältere Ablagerungen abdecken (Hochflutphasen),

Zur Kartierung dieser Substrattypen können bereits konventionelle Luftbilder genutzt werden. Als grundsätzliche Regel gilt, daß Sande und Kiese, als meist „trockene“ und damit optisch helle Bodensubstrate die sichtbare und nahe infrarote Strahlung intensiv reflektieren. Dadurch erscheinen diese in konventionellen Luftbildern meist in vergleichsweise hellen Grautönen. Demgegenüber werden Böden mit hohem Ton- und Lehmanteil, Torfe und Mudden sowie Bodenfeuchteanomalien (z. B. **Sickerstellen**) wegen ihrer grundsätzlich lichtabsorbierenden Eigenschaften zumeist in dunkleren Grautönen abgebildet. Für weiterführende Differenzierungen zwischen unterschiedlichen Substrattypen bietet sich die kombinierte Auswertung von Luftbildern, Multispektral-, Thermal- oder Radarbildern an (vgl. KRONBERG, LANGER & WEGNER 1984 & HÖRIG 1995). Ferner sind von Fernerkundungsdaten (z. B. Luftbilder, digitale Aufnahmen, Laserdaten) hochauflösende digitale Höhenmodelle ableitbar. Damit kann die Voraussage potentieller Überschwemmungsflächen oder die Kartierung von Reliefänderungen nach einem Hochwasser unterstützt werden.

Interpretationsansätze für Beiträge der Fernerkundung zur Beurteilung der Stabilität von Deichen sind in Abbildung 1 schematisch dargestellt. Wie zuvor erwähnt, werden Mudden und Torfe wegen der geringen Reflexion (R_x) von sichtbarer (VIS) und naher infraroter (IR) Strahlung in konventionellen Luftbildern in vergleichsweise dunkleren Grautönen abgebildet. Werden bei der Beurteilung eines Deichabschnittes Indikationen für das Vorkommen von Mudden und Torfen im Liegenden festgestellt, dann sollte der Deich an

diesen Stellen auf mögliche Anfälligkeiten sowohl gegenüber seitlichem Druck als auch auf Grundbruchgefahr hin überprüft werden (Abb. 1a). Demgegenüber sind bei einem als sandig erkannten Untergrund (helle Grautöne) Anfälligkeiten gegenüber einer Unterspülung der Deiche in Extremsituationen nicht auszuschließen (Abb. 1b).

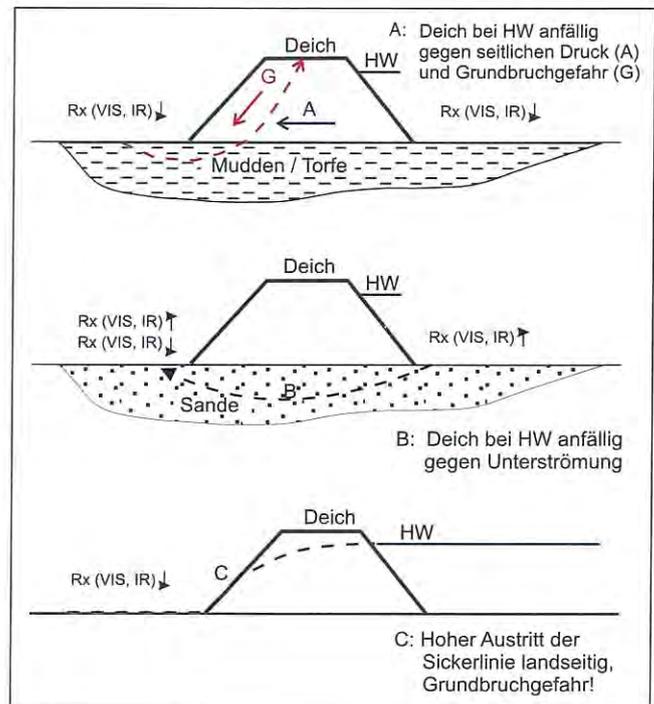


Abb. 1

Schematische Darstellung von Interpretationsansätzen für die Erkennung und Kartierung der Verbreitung von Mudden/Torfen, Sanden/Kiesen sowie Naßstellen im Deichbereich (HW: Hochwasser, Pfeil nach unten: geringe Lichtreflexion (R_x) am Boden, Pfeil nach oben: intensive Lichtreflexion, schwarz: Normalverhältnisse, blau: Verhältnisse bei Hochwasser)

Unabhängig von den geologischen Eigenschaften der Deichauflageflächen können mit Fernerkundungsdaten grundsätzlich auch Problemstellen in Folge der Langzeiteinwirkung von Hochwasser auf einen Deich erfaßt werden. Zum Beispiel ist ein landseitig hoher Austritt der Sickerlinie in Verbindung mit den o.a. Baugrundschwächen (Grundbruchgefahr) durch eine geringe Reflexion von sichtbarer (VIS) und infraroter Strahlung (IR) erkennbar (Abb. 1c). In diesen Fällen können fernerkundungsgestützte Überwachungen in den Hochwasserperioden helfen, Vorortkontrollen der Deiche effizienter anzusetzen.

3. Fallbeispiele

Auswerteansätze zur Bewertung von Bodeneigenschaften werden am Beispiel eines Schwarzweiß-Luftbildes vom Oderbruch, aufgenommen am 9. Mai 1985, vorgestellt (Abb. 2). Das konventionelle Luftbild zeigt eine Vielfalt typischer Texturen und Grautöne, welche die wechselnde Ablagerung von Mudden/Torfen und sandigen Böden anzeigen. Ursache ist

die zyklische Ablagerung von Sedimenten in Verbindung mit ehemaligen mäandrierenden Flußläufen. Die hell erscheinenden Bodenpartien sind typische Bildmerkmale für das Vorkommen von vorwiegend sandigen Bodensubstraten an der Geländeoberfläche (z. B. A). Überschneiden sich derartige Geländeabschnitte mit einem Deich, dann sind Kontrollen bezüglich Anfälligkeiten gegen Unterströmung im Hochwasserfall erforderlich. Im Falle von Planungen neuer Deichbauten sind mögliche Risiken durch Unterströmungen bereits bei der Projektierung zu berücksichtigen. Die dunklen Partien (z. B. B) werden als Merkmal abgelagerter Mudden und Torfe interpretiert.

Allein nach Luftbildern interpretiert, handelt es sich hierbei um Informationen mit Indiziencharakter, deren Stichhaltigkeit in jedem Fall im Gelände zu überprüfen ist. Trotz dieser Einschränkung kann die Interpretation von Fernerkundungsdaten bei professioneller Durchführung den Ansatz von Folgeerkundungen erheblich erleichtern. Traditionelle Erkundungsverfahren (Bohrungen, Sondierungen, Beprobungen, ...) und Sofortkontrollen können nach Ergebnissen von Luftbildauswertungen meist gezielter sowie geologisch und wirtschaftlich effizienter angesetzt werden.

Der geologisch relevante Informationsgehalt von Luftbildern wird maßgeblich vom Zeitpunkt der Aufnahme bestimmt. Das in Abbildung 2 dargestellte Luftbild wurde zu einem optimalen Zeitpunkt, zum Ende des Frühjahrs, bei ausgeglichenen Bodenfeuchteverhältnissen und noch nicht einsetzender Vegetationsperiode aufgenommen. Sommerbilder mit ausgebildeter Vegetationsbedeckungen sind für solche Auswertungen in der Regel weniger geeignet.



Abb. 2
Ausschnitt aus einem Schwarzweiß-Luftbild vom 9. Mai 1985 mit Merkmalen für die Ablagerung von Sanden/Kiesenen (z. B. A) sowie Mudden/Torfen (z. B. B)

Am Beispiel eines multispektralen Satellitenbildes vom 1997er Oder-Hochwasser werden Möglichkeiten der Fernerkundung zur Früherkennung potentieller Schwachstellen im Verlauf eines Deiches aufgezeigt. Es handelt sich um eine Landsat Thematic Mapper Aufnahme vom 22. Juli 1997 ca. 20 Stunden vor dem ersten Deichbruch (Aufnahmehöhe: ca. 700 km, Bodenauflösungselement

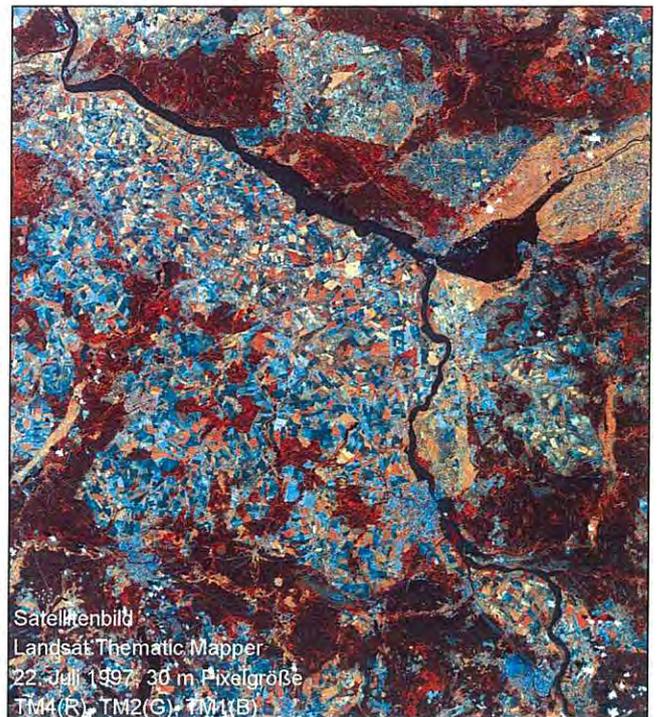


Abb. 3
Ausschnitt aus einer Landsat Thematic Mapper Aufnahme vom 22. Juli 1997 mit dem Verlauf der Oder zwischen Hohensaaten (links/oben) und Eisenhüttenstadt (rechts/unten). (Aufnahmehöhe: ca. 700 km, Szenenausschnitt ca. 60 x 80 km, Bodenauflösungselement 30 m); False Color Composite unter Verwendung der Landsat TM Kanäle TM4 (mit Rot codiert), TM2 (Grün) und TM1 (Blau)



Abb. 4
Ausschnittsvergrößerung der Landsat TM Szene vom 22. Juli 1997 mit der Ziltendorfer Niederung: Durch gezielte Weiterverarbeitung des False Color Composite (TM4, TM2, TM1) werden Wasser- und Sickerflächen in hellem Rot sichtbar gemacht (Dunkelrot: Vegetation); die hellrote Fläche im nordöstlichen Abschnitt der Ziltendorfer Niederung (Kreis) zeigt an, daß bereits vor Bruch des Deiches Drängewasser in die Ziltendorfer Niederung fließt.

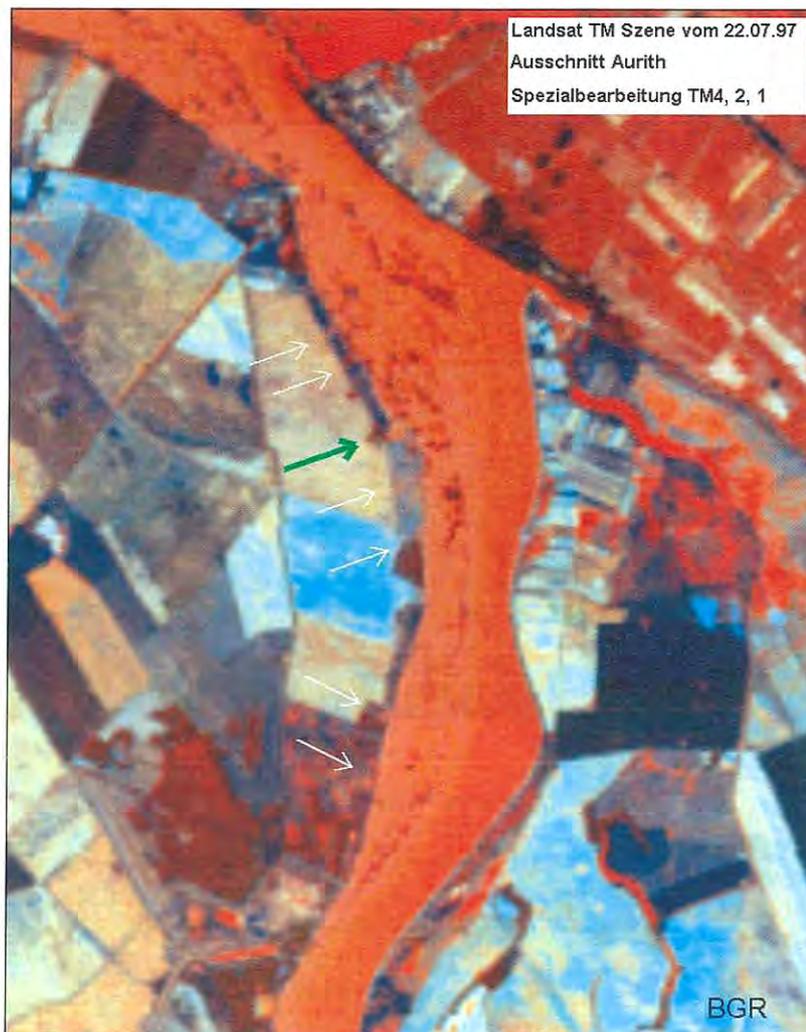


Abb. 5
Extremvergrößerung von Abb. 4 mit Oderabschnitt südlich des Ortes Aurith - Ziltendorfer Niederung: hellrote Spots direkt am Deich zeigen erhöhte Feuchtegehalte an (Pfeile), Interpretation als Sickerstellen bzw. Bereiche mit hohem Austritt der Sickerlinie; grüner Pfeil: Stelle des Deichbruches ca. 20 Stunden nach der Aufnahme des Satellitenbildes.

30 m). Abbildung 3 zeigt einen Szenenausschnitt von ca. 60 x 80 km mit der Oder zwischen Hohensaaten (links/oben) und Eisenhüttenstadt (rechts/unten). Dargestellt ist ein sogenanntes False Color Composite unter Verwendung der Landsat TM Kanäle TM4 (mit Rot codiert), TM2 (Grün) und TM1 (Blau). Die Oder quert das Bild diagonal.

Weitere Ausschnitte aus dieser Szene sind in den beiden nachfolgenden Abbildungen dargestellt. Abbildung 4 ist eine Vergrößerung der Ziltendorfer Niederung. Durch entsprechende Kontrastoptimierungen des False Color Composite (TM4, TM2, TM1) konnten Wasser- und Sickerflächen in hellem Rot sichtbar gemacht werden (Dunkelrot: Vegetation). Die hellrote Fläche im nordöstlichen Abschnitt (Pfeil) zeigt an, daß bereits vor dem Brechen der Deiche die Überflutung der Ziltendorfer Niederung infolge einer Unterströmung in wasserwegsamem Sedimenten eingesetzt hat.

Abbildung 5 ist die Extremvergrößerung eines Ausschnittes von Abbildung 4. Der Ausschnitt der Landsat TM Szene zeigt den Oderabschnitt südlich des Ortes Aurith in der Ziltendorfer Niederung. Bei näherer Betrachtung des Bildes fallen direkt am Deich mehrere hellrote Stellen auf, die erhöhte Feuchtegehalte anzeigen (Pfeile). Diese werden als Sickerstellen bzw. Bereiche mit hohem Austritt der Sickerlinie interpretiert (vgl. Abb. 1c). An einer dieser Zonen ist der Deich ca. 20 Stunden nach der Aufnahme des Satellitenbildes gebrochen.

Das Beispiel soll zeigen, daß Fernerkundungsdaten grundsätzlich geeignet sind, mögliche Gefahrensituationen frühzeitig zu erkennen und zur gezielten Abwehr von Katastrophen beizutragen. Im Falle des Deichbruches bei Aurith hätte ein kurzfristiger Zugriff auf diese Daten möglicherweise zur Früherkennung der potentiellen Schwachstellen im Deichverlauf beitragen und damit den Ansatz gezielter Vorort-Kontrollen erleichtern können. Voraussetzung für eine derartige Vorgehensweise ist, daß im Katastrophenfall ein sofortiger Zugriff auf die Daten ermöglicht wird und im Falle von Wolkenbedeckungen alternative Methoden (z. B. Radarverfahren) zur Verfügung stehen.

4. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Nach bisher vorliegenden Erfahrungen bei der Auswertung von Luft- und Satellitenbildern des unteren Odertales sind Fernerkundungsverfahren in der Lage, Informationen zu den Eigenschaften der Auflageflächen von Deichen zu liefern. Die Beurteilung der Standsicherheit von Deichen in Katastrophensituationen kann damit unterstützt werden. Die demonstrierten Interpretationsbeispiele sollten zeigen, daß Fernerkundungsdaten grundsätzlich geeignet sind, mögliche Gefahrensituationen frühzeitig zu erkennen und zur gezielten Abwehr von Katastrophen beizutragen. Voraussetzung ist, daß in Hochwasserperioden ein sofortiger Zugriff auf die Daten ermöglicht wird.

Im Rahmen von Folgearbeiten bieten sich die folgenden methodischen Untersuchungsziele zur Erweiterung der Anwendungsmöglichkeiten von Fernerkundungsmethoden für die Deichzustandseinschätzung unter den Bedingungen des unteren Odertales an:

- Erweiterung des Kenntnistanandes zu den geologischen Eigenschaften der Deichauflageflächen und Feststellung potentieller Schwachstellen entlang der Deiche durch Auswertung vorhandener Daten und von Daten gezielt angesetzter Neubefliegungen,

- Erprobung neuer geeigneter Sensoren zur Verbesserung der Aussagefähigkeit und Aussagesicherheit der Fernerkundung,
- Erarbeitung und Erprobung von Monitoringkonzepten zur Früherkennung von Risiken in Hochwasserperioden (z. B. zur Eingliederung in Frühwarnsysteme zu Erkennung von Gefahrensituationen).

Darüber hinaus sollten vorhandene Daten aus Extremsituationen hinsichtlich weiterer Aussagen zu möglichen Untergrund- und Deichschwächen untersucht und vermutete Schwachstellen vor Ort überprüft werden.

Literatur

- ALBERTZ, J. (1991): Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern: Eine Einführung in die Fernerkundung.- 204 S., Darmstadt (Wiss. Buchges.).
- KRONBERG, P. (1984): Photogeologie, eine Einführung in die Grundlagen und Methoden der geologischen Auswertung von Luftbildern.- 268 S.; Stuttgart (Enke).
- KÜHN F. & B. HÖRIG (1995): Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten, Bd. 1 Geofernerkundung, 166 S., Heidelberg (Springer).
- LANGER, M. & TH. WEGNER (1994): Methodische Untersuchungen zur Substratanalyse im Oderbruch.- Zentrales Geologisches Institut, Berlin, unveröff. Bericht.

Mitteilung aus dem Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg No. 115

Anschriften der Autoren:

Dr. Friedrich Kühn
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Dienstbereich
Berlin,
Wilhelmstraße 25-30, 13593 Berlin,

Dr. habil. Fritz Brose
Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg
Stahnsdorfer Damm 77
14532 Kleinmachnow

LANDESAMT

Umweltschonende Sanierungsverfahren an setzungsfließgefährdeten Böschungen des Tagebaurestloches Katja-See

PETER NESTLER

Im Rahmen geotechnischer Untersuchungen wurden an den Ost- und Westböschungen des ehemaligen Tagebaurestloches Katja als Teil eines der bedeutendsten brandenburgischen Naherholungsgebiete, dem Helene-See südlich Frankfurt/Oder, setzungsfließgefährdete Bereiche festgestellt. Die Böschungen bedurften einer dringlichen Sanierung, um nicht den gesamten Bade-, Wassersport- und Tauchbetrieb zum nichtkalkulierbaren Risiko werden zu lassen.

Der heutige Katja-See entstand durch die Braunkohlengewinnung im seit 1958 stillgelegten Braunkohlenrevier Brieskow-Finkenheerd. Der Tagebau Katja wurde 1932 aufgeschlossen und förderte bis zur kriegsbedingten Stillsetzung im Frühjahr 1945. Bis 1952 wurden Abraummassen aus dem benachbarten Tagebau Helene als Absetzer-, Pflug- oder Spülkippen abgelagert. Seit Aufgehen des während der Betriebsphase abgesenkten Grundwasserspiegels sind diese Kippenareale aufgrund ihrer Lagerungsdichte sowie weiterer kornphysikalischer Eigenschaften nicht standsicher und gelten bei Eintrag von Initialen als verflüssigungsgefährdet. Am und im Tagebaurestloch bildete sich durch Renaturierung eine bemerkens- und schützenswerte Flora und Fauna aus. Das gesamte Areal ist Bestandteil eines Landschaftsschutzgebietes.

Alle diese Randbedingungen erforderten einerseits eine sichere Gestaltung der gekippten Böschungen am Ost- bzw. Westufer des Sees, andererseits eine besonders schonende

Art der Sanierung. Gemäß den geotechnischen Gegebenheiten (Eigenschaften des Kippsubstrates, Ablagerungstechnologie) kommt als Sanierungsmethodik die Herstellung eines "versteckten Dammes" mindestens mitteldichter Lagerung in Frage, der selbst nicht verflüssigungsempfindlich ist und seinerseits ein Setzungsfließen der dahinter gelagerten Kippenmassen zuverlässig verhindert. Die dafür üblicherweise einsetzbare Rütteldruckverdichtung hätte unweigerlich eine Zerstörung der nach § 32 des Brandenburgischen Naturschutzgesetzes geschützten Biotope bedeutet. Als Alternative dazu wurde der versteckte Damm am Ostufer des Katja-Sees mittels Luft-Impuls-Verfahren über lagegesteuerte Horizontalbohrungen hergestellt. Dies bedeutete die weltweite großtechnische Erstanwendung dieses Verfahrens, flankiert durch ein wissenschaftliches Begleitprogramm zur Erfolgskontrolle bzw. Risikominimierung.

Die nunmehr vorliegenden Ergebnisse weisen einen vollen Erfolg nach. Die bedeutendsten Ergebnisse aber sind, daß die gefährdeten Bereiche während der Sanierung nicht betreten werden müssen (kein Risiko für die ausführenden Personen) und daß bis auf die an sicherer Stelle angelegten Arbeitsflächen für die Horizontalbohrgeräte keinerlei Beeinträchtigung von Flora und Fauna im geschützten Uferbereich eintrat.

Am Westufer des Katja-Sees wurde ein ausreichend dimensionierter versteckter Damm im Böschungsbereich unterhalb des Seewasserspiegels durch Rütteldruckverdichtung von einem Ponton aus hergestellt. Für die Uferlinie wurde die Trittfestigkeit des Untergrundes mittels wasserseitiger flacher Verdichtung durch Rüttelflaschen erzielt. Auch mit dieser Verfahrenskombination konnte die Sicherheit preisgünstig und mit einem Minimum an Umweltbeeinträchtigungen erreicht werden. Insbesondere wurde damit die bei konventioneller landseitiger Rütteldruckverdichtung für die Standicherheit der Geräte unumgängliche Geländeaufhöhung vermieden, die eine völlige Veränderung des Landschaftsbildes am Katja-See zur Folge gehabt hätte.



Abb. 1
Luftbild des Sanierungsgebietes Brieskow Finkenheerd Bildmitte Katja-See, Aufnahme von Osten her gesehen

Über die Sanierungsergebnisse wurde am 8. Juli 1998 auf einem wissenschaftlichen Kolloquium vor Fachkollegen berichtet. Eine ausführliche Darstellung zu dieser Problematik ist in einem der nächsten Hefte dieser Zeitschrift vorgesehen.

Mitteilung aus dem Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg No. 116

Anschrift des Autors:

Dr. Peter Nestler
Landesamt für Geowissenschaften
und Rohstoffe Brandenburg
Außenstelle Cottbus
Vom-Stein-Straße 30 a
03050 Cottbus

Brandenburgische Geowiss. Beitr.	Kleinmachnow	5 (1998), 1	S. 65 – 74	
----------------------------------	--------------	-------------	------------	--

Verfügbarkeit von natürlichen Deichbaumaterialien im Oderraum

THOMAS HÖDING, FRANK LUDWIG & FRITZ BROSE

1. Einleitung

Die Hochwasserbedrohung der Oderregion im Sommer 1997 erforderte unter anderem in einem hohen Maße die umgehende Bereitstellung von großen Mengen Sand, die als Sandsäcke zur Deicherhöhung bzw. zur Abstützung abrutschender Deichabschnitte eingesetzt wurden. Nach dem Rückgang des Hochwassers wurden und werden weiterhin auf der gesamten Länge des Oderlaufs auf deutschem Gebiet große Mengen an Sanden und anderen Steine- und Erdenrohstoffen für Reparaturarbeiten an Deichanlagen, Auffüllungen und zur Ausführung von weiteren Deichbauarbeiten benötigt. Diese Rohstoffe sollten möglichst kosten- und somit auch entfernungsgünstig zu den jeweiligen Einbaustellen gewonnen werden.

Aus den regionalen rohstoffgeologischen Kenntnissen des Landesamtes für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg (LGRB) heraus werden im vorliegenden Beitrag sowohl die für Deichbauarbeiten im Oderraum in Frage kommenden Steine- und Erdenrohstoffe beschrieben als auch konkrete Lagerstätten und Entnahmestellen benannt, die unter Berücksichtigung sowohl der jeweils geforderten gesteintechnischen Parameter als auch der Optimierung der Transportkosten zur Gewinnung dieser Rohstoffe genutzt werden können. Die mit dem Arbeitsgebiet Steine und Erden befaßten Mitarbeiter des LGRB können bei der Bearbeitung derartiger Fragestellungen sowohl auf die Erfahrung jahrelanger rohstoffgeologischer Arbeiten in der Region zurückgreifen als auch auf umfangreiche Primärmaterialien in den Archiven des LGRB (Schichtenverzeichnisse von Bohrungen, Erkundungsberichte, Geologische Karten, Gutachten, Rohstoffuntersuchungen u. a., vgl. BARTMANN 1995).

Die Arbeiten zur Ausweisung geeigneter Gewinnungs- und Entnahmestellen von Steine- und Erdenrohstoffen für Deichbauarbeiten stehen in direkter Beziehung zu einer der Kernaufgaben des LGRB als der geologischen Fachbehörde des Landes Brandenburg: Erfassung, Kartierung und Bewertung von Vorkommen und Verbreitung mineralischer und energetischer Rohstoffe, Arbeiten zur Rohstoffsicherung und Rohstoffvorsorge.

2. Kenntnissammlung für frühere Deichbauarbeiten

Kenntnisse über geeignete natürliche Rohstoffe für Deichbauzwecke im Oderraum wurden bereits in früheren Jahrzehnten gesammelt und systematisiert, so insbesondere durch

die ehemalige Bezirksstelle für Geologie in Frankfurt/Oder. Alle primären Archivmaterialien dieser Bezirksstelle gingen übrigens in die Archivbestände des LGRB ein. Darunter wären in erster Linie diverse Erkundungsberichte von Rohstofflagerstätten im Oderraum zu nennen, ferner Angaben zu Vorratsbewegungen in den einzelnen bauenden Lagerstätten, die jeweils jährlich gemeldet wurden, sowie Schichtenverzeichnisse von den im betrachteten Raum abgeteuften Bohrungen. Auf der Basis dieser Kenntnisse wurden bereits in den 70er Jahren Kartenwerke für potentielle Entnahmestellen von Steine- und Erdenrohstoffen für akut anstehende Deichbaumaßnahmen in Hochwassersituationen erstellt.

Dieses angewandte geologische Kartenwerk beinhaltete Darstellungen potentieller Materialentnahmestellen sowohl im Übersichtsmaßstab 1 : 200 000 als auch im größeren Maßstab 1 : 25 000. Als Ergänzung der kartographisch darstellbaren Daten wurde eine Dokumentation mit ergänzenden Daten zu jeder Entnahmestelle wie Korngrößenangaben, verfügbare Tonnage, Erschließbarkeit u. a. erarbeitet. Gelagert wurden diese Dokumente, die in der DDR VVS-Charakter trugen, beim Stab der Zivilverteidigung, die im herannahenden Katastrophenfall für das schnelle Anlaufen und die Koordinierung von Präventivmaßnahmen gegen eine Überflutung verantwortlich gewesen wäre.

Ferner wurde der Geologische Dienst in die Arbeit der damals existierenden Deichkommissionen einbezogen, die u. a. zweimal jährlich Deichschau durchführten und dabei jeweils Maßnahmen zur Aufrechterhaltung bzw. Verbesserung der Schutzfunktion der Deiche anordneten. Die Durchführung dieser Maßnahmen wurde - soweit es sich um bauliche Veränderungen unter Verwendung von Steine- und Erdenrohstoffen handelte - meist durch örtliche Bauunternehmen oder Bauern der Genossenschaften realisiert, die sich bei der Materialentnahme ebenfalls der o. g. Rohstoffvorkommen bedienten. Eine große Rolle spielten dabei auch lokale Sand- und Kiesgruben geringer Größe, die direkt von den Landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften oder Produktionsgenossenschaften des Handwerks Bauwesen betrieben wurden.

Nach der Wiedervereinigung wurden die örtlichen Geologischen Dienste (zunächst noch die Abteilung Geologie der Bezirksverwaltungsbehörde, später das LGRB) nicht mehr in Arbeiten zur Deichsicherung einbezogen. Der Verbleib des Kartenwerkes der potentiellen Rohstoffentnahmestellen und der zugehörigen Dokumentation ist ungeklärt. Davon abge-

sehen gab es in den Jahren nach 1990 einen stürmischen Umbruch in der Rohstoffgewinnung auch in der Oderregion, der eine grundlegende Umarbeitung dieser Unterlagen erfordern würde: Eine Reihe von Rohstoffgewinnungsstellen schlossen oder wurden aus unterschiedlichsten Gründen stillgelegt, neue Lagerstätten wurden aufgeschlossen, kleinere Entnahmestellen wuchsen zu und sind damit derzeit schwer zugänglich.

3. Rohstoffdokumentationen des LGRB für die Oderregion

Trotz des Verlustes der unter Punkt 2. genannten speziellen Arbeitsergebnisse sind die Primärmaterialien natürlich nach wie vor im LGRB vorhanden. Auf ihrer Basis wurden in den vergangenen Jahren diverse Arbeiten für die angewandte Geologie im Oderraum erstellt. Eines der wichtigsten Produkte in dieser Hinsicht ist die Karte der oberflächennahen Rohstoffe des Landes Brandenburg im Maßstab 1 : 50 000 (KOR 50), die inzwischen flächendeckend für das gesamte Land vorliegt (MANHENKE et al. 1997). Das gesamte Kartenwerk umfaßt 85 Einzelkarten, für die Bewertung von Steine- und Erdenrohstoffen in der Oderregion sind dabei neun Kar-

ten von unmittelbarer Bedeutung. Die Aufgabe, ein derartiges Kartenwerk fertigzustellen, wurde dem LGRB durch Erlaß des Ministers für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie vom 06. September 1993 übertragen (MWMT 1993).

Jede KOR 50 besteht aus der eigentlichen Kartendarstellung, einer Legende sowie textlichen Erläuterungen zum Blatt, die jeweils aus den drei Abschnitten "Geologischer Überblick", "Gegenwärtige Rohstoffnutzung" und "Weitere Rohstoffpotentiale" bestehen. Neben der Darstellung der einzelnen Bodenschätze ist der Kartendarstellung eine vereinfachte geologische Grundlage unterlegt: Die Darstellung von Hochflächen und Niederungsbereichen, die eine erste Aussage darüber ermöglicht, ob die dargestellten Bodenschätze in den entsprechenden Gebieten vorwiegend im Trocken- oder im Naßschnitt gewonnen werden können. Rohstoff-Flächen, deren Nutzung bereits durch bergrechtliche Verfahren abgestimmt ist, sind hervorgehoben. Bei der Darstellung derzeit nicht in Nutzung befindlicher Lagerstätten und Vorkommen ist der geologische Kenntnisstand zur entsprechenden Fläche (geologisch erkundet - geologisch gefolgert - geologisch vermutet) ersichtlich. Ferner wurden auch derzeit stillgelegte Abbaue in die Kartendarstellung aufgenommen. Diese

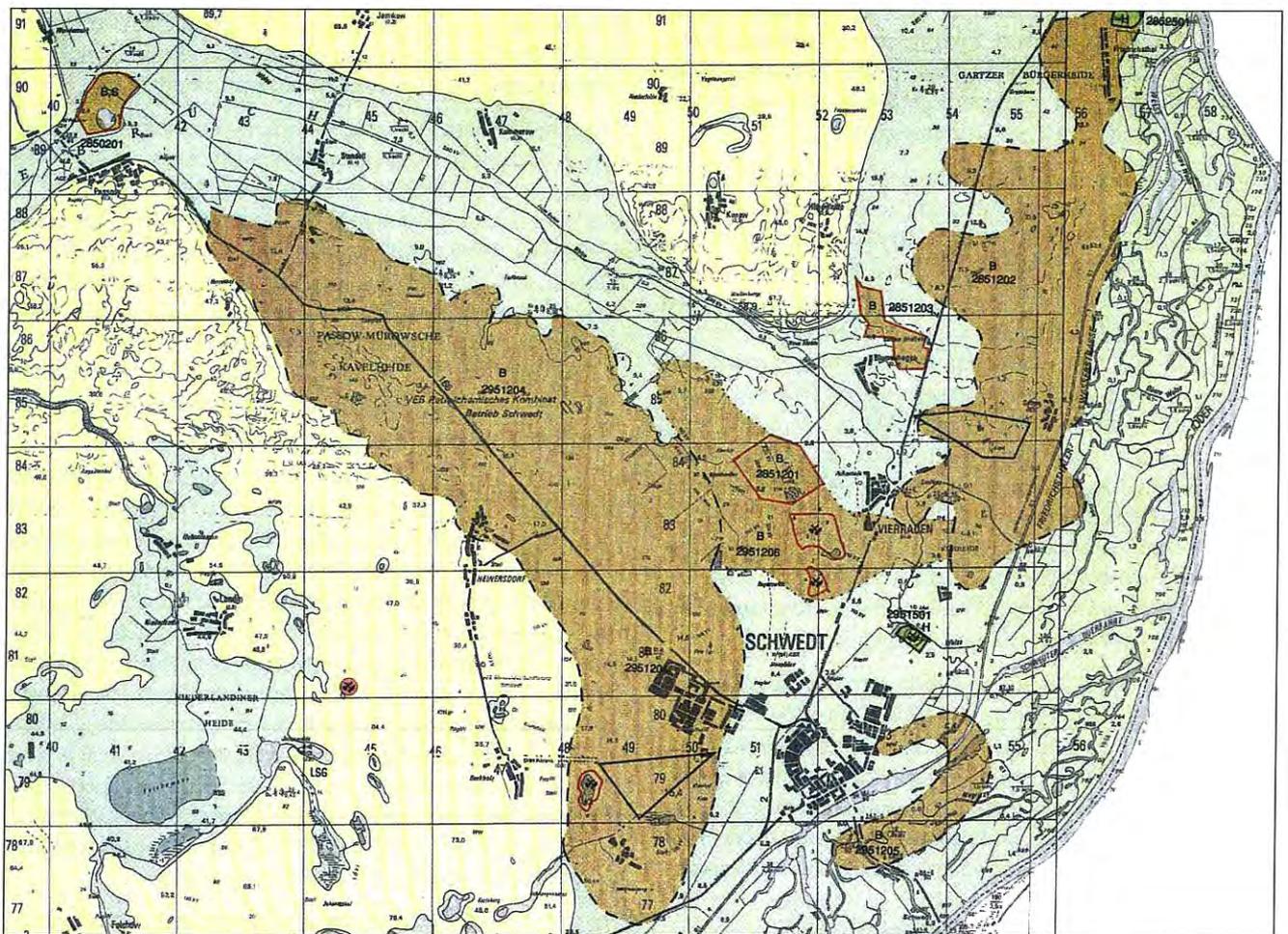


Abb. 1

Ausschnitt aus der KOR 50, Blatt L 2950 Schwedt (Oder) mit den Lagerstätten Passow (2850201), Vierraden (2851201) und Blumenhagen (2851203) (verkleinert auf 1 : 100 000). Braun dargestellt sind die Höflichkeitsgebiete mit den Terrassenbildungen der Unteren Oder (2851202) bzw. den Ablagerungen des Randow-Welse-Systems (2951204). Topographie teilweise ausgeblendet.

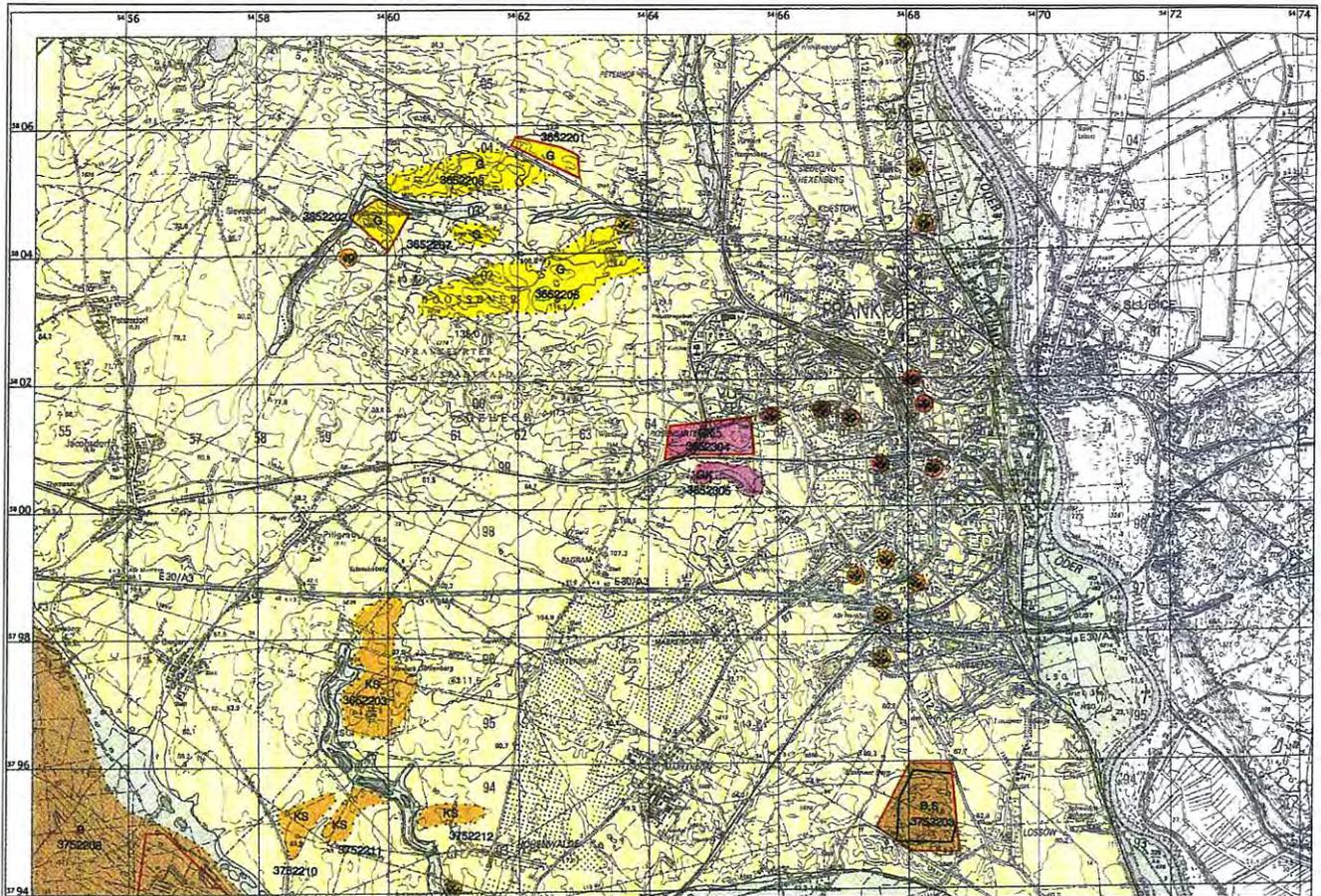


Abb. 2

Ausschnitt aus der KOR 50, Blatt L 3752 Frankfurt (Oder) (verkleinert auf 1 : 100 000). Südlich der Stadt liegt die Lagerstätte Lossow (3753203), westlich die Tonlagerstätte Rosengarten (3652304). Nördlich von Frankfurt und im Stadtgebiet selbst sind eine Reihe stillgelegter Sand- und Tonabbauere erkennbar. Der Niederungsbereich (hellgrün) ist im Frankfurter Oderdurchbruchstal relativ schmal.

werden unter der Zielsetzung, auch Entnahmestellen für eine kleintonnagige Gewinnung von Rohstoffen für Deichbauarbeiten zu nutzen, wieder besonders interessant.

In der Karte besitzt jede Lagerstätte und jedes Höffigkeitsgebiet eine "Identnummer des FIS Rohstoffe", die die Verbindung zur Rohstoffdatenbank des LGRB herstellt. Diese Rohstoffdatenbank umfasst neben einer Stammdatendatei mit allen Rohstoffobjekten mehrere Dateien, in denen die wichtigsten Parameter zu den einzelnen Rohstofflagerstätten und -höffigkeitsflächen gespeichert und unter verschiedenen Fragestellungen recherchierbar sind. Weitere Dateien enthalten Angaben über Rohstoffbetriebe, Erkundungsbohrungen, aus Lagerstätten entnommenen Proben und Ergebnisse von Laboruntersuchungen an diesen Rohstoffproben.

Das Kartenwerk der KOR 50 dokumentiert damit das nach dem derzeitigen Kenntnisstand des Landesamtes für Geowissenschaften und Rohstoffe auf dem Gebiet des Landes Brandenburg vorhandene Potential an oberflächennahen Rohstoffen, insbesondere Steine- und Erdenrohstoffe. Der Überblick über potentielle Entnahmestellen für Deichbaumaterialien im Oderraum, den dieser Beitrag darstellt, basiert im wesentlichen auf dem bereits in der KOR 50 und dem FIS Rohstoffe des LGRB dargestellten Wissensstand.

4. Kiessande und Sande für Deichbauten im Oderraum

4.1. Allgemeine Anforderungen

Kiessande und Sande sind im allgemeinen diejenigen Materialien, aus denen die Deichkörper selbst aufgebaut sind bzw. die in den Deichunterbau nach Auskoffierung von z. B. Torfen oder Mudden eingebracht werden. Allgemeine Anforderungen an derartige Materialien sind (vgl. auch DVWK 1986):

- Beständigkeit (nicht zersetzbar, nicht quellbar, nicht entzündbar)
- Verdichtungsfähigkeit (Ungleichförmigkeitsgrad möglichst größer 3)
- bestimmte Anforderungen an Scherfestigkeit, Durchlässigkeit und Filtereigenschaften
- Vorkommen möglichst nahe der Einbaustelle.

Die folgenden Absätze stellen eine kurze Beschreibung der potentiell nutzbaren Kiessand- und Sandvorkommen für Deichbauarbeiten dar, wobei

- die einzelnen Objekte systematisch von Nord nach Süd abgehandelt werden,

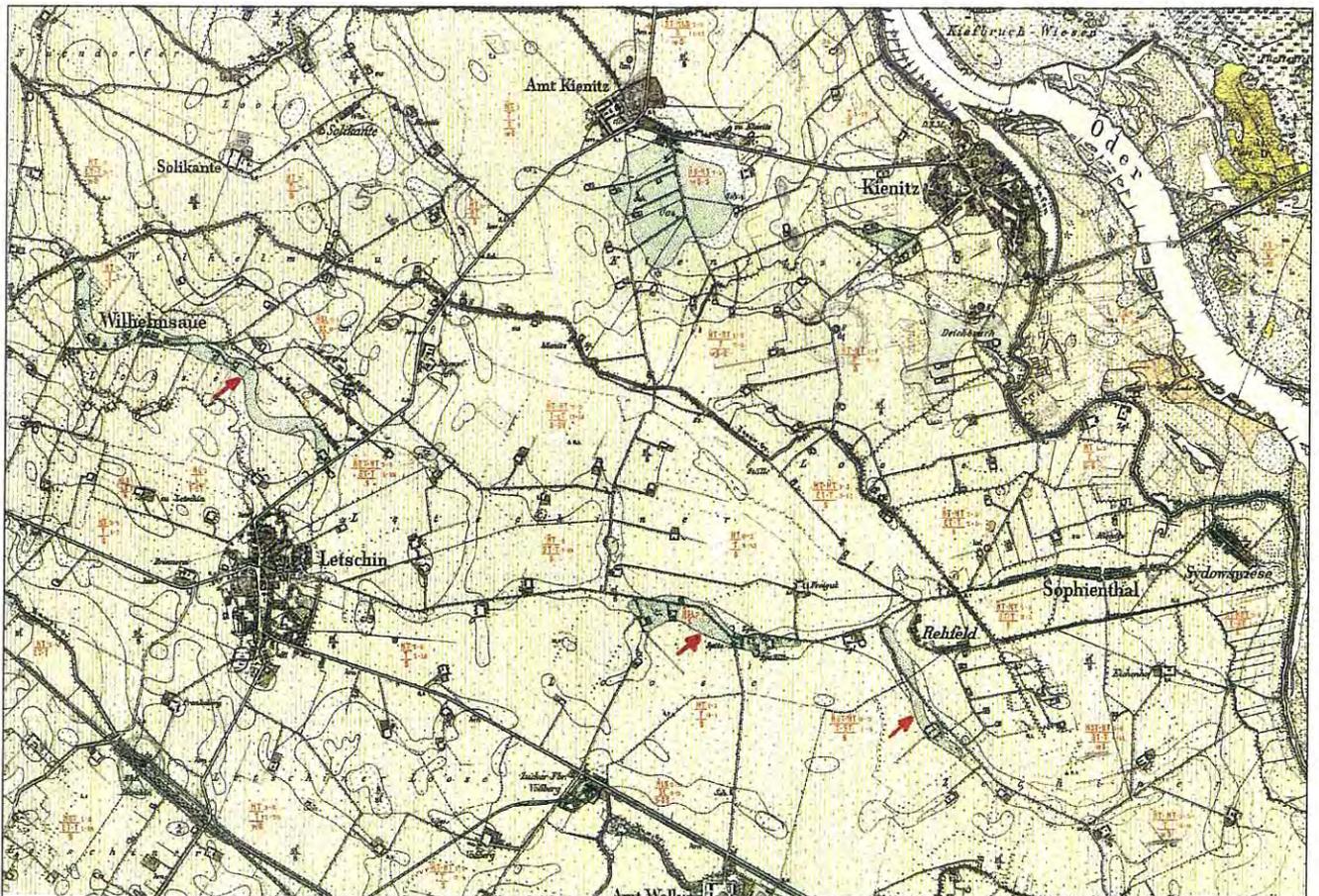


Abb. 3

Ausschnitt aus der Geologischen Karte 1 : 25 000, Blatt 3352 Letschin (verkleinert auf 1 : 50 000). Alte Uferwälle der Oder sind mit Pfeilen gekennzeichnet.

- sowohl auf aufgeschlossene (bauende) Lagerstätten wie auch auf Restlöcher und Höffigkeitsgebiete eingegangen wird,
- einzelne ausgewählte rohstoffspezifische Parameter genannt werden und
- Bemerkungen zu den Aufschlußverhältnissen enthalten sind. In Klammern hinter den Lagerstättenbezeichnungen steht jeweils die Blattnummer der entsprechenden KOR 50.

4.2. Nördliche Landesgrenze bis Höhe Schwedt

Die nördlichsten ca. 30 Flußkilometer der Oder auf dem Gebiet Brandenburgs sind charakterisiert durch die Uckermärker Hochfläche, eine Grundmoränenplatte und die Niederung des Unteren Odertals. Auf der Uckermärker Hochfläche gibt es derzeit keine bauenden Lagerstätten. Als stillgelegte Lagerstätte existiert hier lediglich ein Restloch bei **Mescherin** (L 2752) am Niederungsrand der Oder. Hier wurden im wesentlichen Fein- bis Mittelsande mit nur einem geringen Kiesanteil > 2 mm abgebaut. Die Lagerstätte wurde Anfang der 90er Jahre stillgelegt, da sie im Nationalpark Unteres Odertal liegt. An Restvorräten wären hier noch ca. 1,2 Millionen Tonnen Sande gewinnbar, davon 700 000 t im Trockenschnitt, 500 000 t im Naßschnitt, wobei der Kiesanteil mit der Teufe zunimmt.

Weiter südlich bis etwa in Höhe von Schwedt ist lediglich die Lagerstätte **Passow** (L 2950) in Betrieb, in der Urstromtalsedimente des Randow-Welse-Systems gewonnen werden. Diese relativ feinkörnigen Talsande weisen lediglich einen Ungleichförmigkeitsgrad von $U \approx 2$ auf, verfehlen also das o. g. gewünschte Kriterium von $U > 3$. Jedoch - und das gilt für alle besprochenen Kiessande und Sande - läßt sich der Ungleichförmigkeitsgrad durch einen gezielten Verschnitt verschiedener bei einer Aufbereitung gewonnener Korngrößenfraktionen verbessern. Andererseits stellt eine solche Mischung wiederum einen Kostenfaktor dar, der bei Vorhandensein primär geeigneter Rohstoffe nicht hinnehmbar ist. Die Lagerstätte Passow liegt ferner ca. 17 km von der Oder entfernt, was für transportkostensensible Steine- und Erdenrohstoffe eine beträchtliche Entfernung darstellt.

Für den Aufschluß zweier weiterer Lagerstätten, die wesentlich näher an der Oder liegen, **Vierraden** und **Blumenhagen** (beide L 2950), läuft zur Zeit die raumordnerische Abstimmung. Der Zeitpunkt des Aufschlusses ist noch nicht absehbar. Der Rohstoff in beiden Lagerstätten ist als kiesiger Sand mit Kiesanteilen von ca. 20 % zu bezeichnen. Nach ersten Korngrößenanalysen sind Ungleichförmigkeitsgrade des Materials von $U \approx 3$ zu erwarten. Im näheren Oderbereich sind von der Nordgrenze Brandenburgs bis etwa auf Höhe Schwedt unerschlossene Rohstoffpotentiale insbesondere in

Form der Terrassenbildung der Unteren Oder bzw. des Randow-Welse-Systems vorhanden. Die Rohstoffführung dieser Gebiete ist durch eine relativ große Bohrungsdichte belegt. Restriktionen bei der Erschließung weiterer Lagerstätten bestehen in diesem Gebiet jedoch durch den Naturschutz und durch weiträumig bebaute Flächen (PCK Schwedt und weitere Betriebe).

4.3. Schwedt bis Neuenhagener Oderinsel

Von Schwedt aus weiter nach Süden gehend bis zur Neuenhagener Oderinsel ist lediglich die Lagerstätte **Hohensaaten** (L 3150) aufgeschlossen. Die hier in Abbau befindlichen spätpleistozänen Terrassenablagerungen des Unteren Oderals gehören zu den qualitativ hochwertigsten Kiessanden in Brandenburg. Der Kiesanteil beträgt ca. 30 %, es wurden Ungleichförmigkeitsgrade $U > 3$ ermittelt.

Nordwestlich dieser Lagerstätte existieren auf dem Hochflächenbereich bzw. an dessen Rand Restlöcher bei **Stolpe**, **Stolzenhagen** und **Parstein**, deren Reaktivierung prinzipiell möglich ist (Blatt L 3150). So enthält z. B. die Lagerstätte Stolzenhagen knapp 1 Mill. t Restvorräte an fein- bis mittelkörnigen Sanden, die Rohstoffe der Lagerstätte Parstein sind demgegenüber gröber, jedoch teilweise durch Geschiebemergelschichtungen unterbrochen. Als großes Höffigkeitsgebiet auf dem Blatt L 3150 ist die **Komplexlagerstätte Stolper Bogen** zu nennen, in der große Mengen an Kiessanden und Sanden ausgewiesen sind. Darüber stehen als weitere Rohstoffe Torfe und Auelehme in wechselnden Mächtigkeiten an. Ferner ist der Stolper Bogen auch eine bedeutende Grundwasserlagerstätte. Ein Aufschluß dieser Lagerstätte ist aus Naturschutzgründen nicht vorgesehen.

Im nordwestlichen Bereich der Neuenhagener Oderinsel stehen in der Lagerstätte **Bralitz** (L 3150) Weichsel-II-Nachschüttbildungen eines quartären Oderlaufs an. Der Ungleichförmigkeitsgrad dieses Materials läßt sich gegebenenfalls über einen Verschnitt steuern. Der Abbau ruht seit ca. einem Jahr, jedoch ist der Abbau kurzfristig reaktivierbar.

4.4. Oderbruch

Die Neuenhagener Oderinsel bildet die nördliche Begrenzung des Oderbruchs. Die Bildung des Oderbruchs ist auf die Anlage einer präweichselglazialen Depression, die weichsel- und postweichselglazial überprägt wurde, zurückzuführen (BROSE 1995). Hier lagerten sich über vorwiegend glazifluviatilen bzw. fluviatilen Sanden und Kiessanden im Spätglazial und Holozän vor allem Tone und Schluffe, z. T. auch organogene Sedimente wie Torfe und Mudden ab.

Im Bereich des eigentlichen Oderbruchs gibt es keinen Rohstoffabbau auf Kiessande oder Sande, jedoch existieren an zwei Stellen im Übergangsbereich von der Hochfläche zur Oderniederung Abbaue von vorwiegend jungpleistozänen Schwemmkegelbildungen, die von der Hochfläche ins Oderbruch geschüttet wurden, die Lagerstätten von **Altranft** (L 3350 und **Gusow** (L 3550/L 3552). Während in der Lagerstätte Altranft das gesamte Spektrum der Sandfraktion mit geringem Kiesanteil ansteht (U ca. 1,9 - 3,5), werden in Gu-

sow stark kiesige bis geröllführende Grobsande abgebaut, die in der Kornzusammensetzung Ungleichförmigkeitsgrade von $U \approx 3$ erreichen.

Restlöcher existieren in diesem Gebiet bei **Wriezen** und **Vevais** (L 3350), sowie direkt am Oderbruchrand bei **Neuwerbig** und **Werbig** (L 3552). Eine Erweiterung der Lagerstätte bei Wriezen ist geologisch möglich, durch die KOR 50 ist hier im Anschluß an die ehemalige Abbaufäche ein Höffigkeitsgebiet ausgewiesen.

Im Süden des Oderbruchs ragt der Reitweiner Sporn in dieses hinein. Auch hier gibt es drei Restlöcher direkt am Übergang zwischen Hochfläche und Niederungsbereich, in denen der Rohstoffabbau reaktiviert werden könnte, und zwar westlich bzw. südöstlich von Podelzig. Aus einem davon (bei **Mallnow**, L 3552) erfolgte beim Sommerhochwasser 1997 in Größenordnungen eine Materialentnahme sowohl zum Füllen von Sandsäcken als auch für die Anlage eines Notdeichs bei Reitwein. Dieses Restloch zeigt beispielhaft, wie im Katastrophenfall eine stillgelegte Lagerstätte für die Rohstoffgewinnung reaktiviert werden kann.

Im Oderbruch gibt es noch weitere Materialquellen zur Gewinnung von Sanden für akute Einsatznotwendigkeiten. Sande kommen z. B. in Dünen an der Alten Oder vor, besonders deutlich auf den geologischen Karten 1 : 25 000 erkennbar. Da diese Sande kaum verdichtbar sind, eignen sie sich nur für die Füllung von Sandsäcken. In der Vergangenheit wurden einige dieser Vorkommen als Kleinentnahmestellen für Sande genutzt. Ihre Anzahl ist jedoch gering und sie stehen unter Naturschutz. Darüber hinaus gelten einige Dünen als archäologisch bedeutsame Fundpunkte. Ferner enthalten alte Uferwälle der Oder Kiessande und Sande, zum Teil sogar mit einem weit gefächerten Kornspektrum und damit gut verdichtbar. Auf den geologischen Karten sind derartige Ablagerungen deutlich erkennbar ausgehalten (Abb. 3).

Im Bereich des Oderbruchs sind eine Reihe von Höffigkeitsgebieten durch die KOR 50 ausgehalten worden, so der bereits genannte Schwemmfächer am Hochflächenrand bei Altranft, ferner spätpleistozäne Schmelzwasserterrassen bei **Wriezen** und **Gottesgabe** (L 3350) sowie in diesem Gebiet vermutete alte Oderläufe mit fluviatilen Mittel- bis Grobsanden und Kiesen zwischen **Ortwig** und **Bliedorf** (L 3350/L 3352).

Alle diese Bildungen sind durch Bohrungen nachgewiesen, aber bisher nicht rohstoffgeologisch erkundet worden. Wenn das Gesamtkonzept, für den vorbeugenden Hochwasserschutz einbaunaher Entnahmestellen von Kiessanden und Sanden nachzuweisen, realisiert werden soll, muß zuvor eine solche Erkundung stattfinden.

4.5. Bereich um Frankfurt/Oder

Vom Reitweiner Sporn bis zum Beginn der Ziltendorfer Niederung erstreckt sich das Frankfurter Oderdurchbruchstal. Auf der westlichen Oderseite wird hier der Niederungsbereich stark eingeeengt, da die Hochfläche z. T. bis unmittelbar an die Oder heranreicht (zwischen Lebus, Frankfurt und Lossow). Bauende Lagerstätte im näheren Oderbereich ist hier nur die Sandgrube **Lossow** (L 3752), in der saaleglaziale gla-

zifluviatile Sande gewonnen werden. In unaufbereitetem Zustand sind Ungleichförmigkeitsgrade von ca. 2,3 - 5,6 erreichbar, wobei die Abweichungen v. a. aus den unterschiedlichen Kornspektren im nördlichen und südlichen Teilfeld der Lagerstätte resultieren. Auch die Sande dieser Lagerstätte wurden beim Sommerhochwasser 1997 zur Abfüllung von Sandsäcken und zum Bau des Notdeiches bei Reitwein genutzt.

Auch im Gebiet von Frankfurt/Oder existieren mehrere ehemalige Sandgewinnungsstellen. Die Restlöcher östlich **Wüste Kunersdorf** und am **Triftweg** im Norden des Stadtgebietes (beide L 3752) liegen am Hochflächenrand und damit in unmittelbarer Nähe der Oder. Derzeit bestehen hier die Restriktionen Naturschutz bzw. Teilnutzung durch Betriebsanlagen der Energieversorgung, vom lagerstättengeologischen Standpunkt aus könnten jedoch beide Gewinnungsstellen unproblematisch für einen Rohstoffabbau reaktiviert werden. Eine Reaktivierung ist ebenfalls für die Restlöcher im Bereich des Südrings und an der B 112 (nördlich der Autobahnauffahrt) möglich.

Da der Bereich des Oderdurchbruchstales ein Gebiet mit potentiell höheren Fließgeschwindigkeiten im Hochwasserfall darstellt, kann es hier besonders wichtig sein, im Bedarfsfall sofort eine Sandsackeingreifreserve bei der Hand zu haben. Wie auch die Erfahrungen des Sommerhochwassers 1997 zeigen, tritt in solchen Fällen zuerst ein Engpaß beim Füllmaterial, nämlich dem Sand, auf und nicht etwa an Helfern oder an leeren Säcken. Das Vorhalten schnell erreichbarer Abbaustellen von Sanden bzw. Kiessanden ist daher insbesondere im Oderdurchbruchstal von besonderer Bedeutung.

4.6. Eisenhüttenstädter Odertal

Südlich des Oderdurchbruchstals schließt sich das Eisenhüttenstädter Odertal mit der Ziltendorfer Niederung und der Neuzeller Niederung an, die durch spätpleistozäne Schmelz-

wasserterrassen voneinander getrennt werden. Die südlichste Begrenzung des hier betrachteten Raumes bildet dann die Neißenederung, die bei Ratzdorf in das Eisenhüttenstädter Odertal übergeht. Bauende Lagerstätten in diesem Bereich befinden sich bei Finkenheerd und Vogelsang. In der Lagerstätte **Finkenheerd** (L 3752) werden Bildungen des Berliner Urstromtals abgebaut. Diese Kiessande weisen ca. 12 % Kiesanteil auf, der Ungleichförmigkeitsgrad des Materials liegt bei $U \approx 3,3$. Abbauegenstand in der Lagerstätte **Vogelsang** (L 3952/L 3954) sind Sedimente der 2. und 3. Terrasse des Berliner Urstromtals bzw. das im Liegenden anstehende saalezeitliche Glazifluviatil. Das Material erreicht Ungleichförmigkeitsgrade $U > 3$.

Als bereits im Neißetal gelegene, aber aufgrund der geringen Transportentfernung noch relevante Lagerstätte ist **Coschen-Bresinchen** (L 3954) zu nennen, wo Kiessande der spätpleistozänen Neißeterrassen gewonnen werden. Ein Restloch, das in großem Umfang zur Deichsicherung 1997 reaktiviert wurde, liegt in der Lagerstätte Eisenhüttenstadt, Ortsteil **Schönfließ** (L 3952). Hier stehen Fein- bis Mittelsande der Holstein- bis Frühsaalezeit an. Rohstoffe dieser Lagerstätte wurden sowohl in der direkten Hochwasserphase für Sandsackfüllungen genutzt als auch für die nachfolgende Reparatur der Deiche. Allein zur Sanierung der Deichbruchstelle südlich von Aurith in der Ziltendorfer Niederung wurden zur Schließung der über 10 m tiefen Auskolkung neben ca. 95 000 m³ wieder zusammengesetzten Materials aus dem Schwemmfächer ca. 40 000 m³ Sande aus Schönfließ eingebaut. Die Abbildungen 4 und 5 zeigen diese Bruchstelle zu Beginn der Sanierungsarbeiten und nach der Verfüllung der Auskolkung (noch ohne das eigentliche Deichbauwerk). Aufgrund einer geplanten Bebauung auf dem Areal des Restloches Schönfließ ist die langfristige Rohstoffnutzung aus dieser Grube in Frage gestellt. Als weiteres potentiell für die Roh-



Abb. 4

Auskolkung an der Deichbruchstelle südlich Aurith zu Beginn der Reparaturarbeiten am 15.09.1997. Foto: A. Seidemann

stoffgewinnung in geringerem Umfang nutzbares Restloch ist die ehemalige Sandgrube **Lawitz** (L 3952) südlich Eisenhüttenstadt, ebenfalls wieder am Übergang zwischen Hochfläche und Niederungsbereich, zu erwähnen.

Höffigkeitsgebiete auf Kiessande und Sande sind in der Ziltendorfer Niederung nicht ausgewiesen, dafür jedoch im Bereich zwischen Brieskow-Finkenheerd und Eisenhüttenstadt, wo oberflächennah weiträumig Ablagerungen des Warschau-Berliner Urstromtals mit Mittel- bis Grobsanden und Kiesgehalten von teilweise über 10 % anstehen. Teilflächen in diesem Bereich sind bereits rohstoffgeologisch vorerkundet worden, ein Aufschluß neuer Lagerstätten ist derzeit aber nicht absehbar. Neben Vogelsang wären aus geologischer Sicht auch weitere Lagerstättenaufschlüsse in der spätpleistozänen Schmelzwasserterrasse des Eisenhüttenstädter Odertals möglich.

4.7. Randbedingungen beim Einsatz von Kiessanden und Sanden

Nach diesem ausführlichen Lagerstättenüberblick in bezug auf Kiessande und Sande im Oderraum sollen noch einige Aspekte aufgeführt werden, die bei der Lagerstättenauswahl für verschiedene Deichbauarbeiten beachtet werden sollten. Es ist eine Fallunterscheidung zwischen längerandauernden Deichsanierungen bzw. Arbeiten zum Neubau oder zur Reparatur einerseits und kurzfristigem Katastropheneinsatz in Hochwassersituationen andererseits zu treffen.

Für die längerandauernden Arbeiten sind vor allem große, ergiebige Lagerstätten interessant, deren Materialparameter (Kornspektrum, Beimengungen u. a.) zuvor ermittelt wurden und die verkehrsmäßig gut erschlossen sind. Für kurzfristig notwendige Einsätze können auch abgeworfene Lagerstätten mit nur noch geringen Restvorräten von Bedeutung sein. Ein schneller, entfernungsgünstiger Zugriff muß hier ebenfalls gewährleistet sein, dafür müssen bestimmte Parameter nicht unbedingt eingehalten werden (z. B. sind Dünenande für Sandsackfüllungen durchaus geeignet). Prinzipiell sind für kurzfristige Einsätze nur Lagerstätten geeignet, in denen die Rohstoffgewinnung im Trockenschnitt erfolgen kann.

Das Sommerhochwasser 1997 an der Oder zeigte, daß für Deichbauarbeiten aus Zeitgründen keine Neuaufschlüsse nach Bergrecht oder Baurecht möglich waren, daher war ein Rückgriff auf Restlöcher notwendig und wird auch bei ähnlichen künftigen Situationen notwendig sein. Für das Land sollte ferner die Frage der Rohstoffkosten von Bedeutung sein. Während sich Grund und Boden mehrerer reaktivierbarer Restlöcher im Landesbesitz befindet, muß für aus bauenden Lagerstätten bezogene Rohstoffe natürlich bezahlt werden. Nach noch nicht endgültigen Zahlen belief sich der Bezug von Rohstoffen aus bauenden Lagerstätten noch vor Beginn der umfangreichen Reparatur- und Sanierungsarbeiten an den Deichen auf insgesamt mehr als 200 000 t.

Die kontinuierliche Vorhaltung von Restlöchern für eine eventuell kurzfristig notwendige Rohstoffentnahme erfordert aus lagerstättengeologischer Sicht

- die Prüfung der Aufschlußverhältnisse (oftmals entstanden in Restlöchern Deponien)
- eine Kurzeinschätzung der Restvorräte
- die Gewährleistung der Befahrbarkeit.

Für eine stetige Zugänglichkeit wäre es empfehlenswert, in für den Hochwasserschutz als wichtig erkannten Restlöchern in einem geringen Umfang den Abbau zu reaktivieren, z. B. durch Genehmigung zeitweiliger Sandentnahmen für örtliche Bauvorhaben.

5. Bindige Materialien für Deichbauten im Oderraum

5.1. Allgemeine Anforderungen

Unter bindigen Materialien für Deichbauten werden ganz allgemein Tonrohstoffe und tonige Rohstoffe mit geringer Wasserdurchlässigkeit verstanden. Ihre Anwendung erfolgt mit dem Ziel, die Durchfeuchtung von Deichen zu verhindern oder zu verzögern. Bindige Materialien werden in Deichanlagen verbaut als

- Deichschürzen, d. h. auf die Deichböschung aufgebrachtes Material,
- Abdichtschichten zur Verhinderung der Durchfeuchtung des Untergrundes im unmittelbaren Vorfeld des Deiches,
- Material zum Aufbau bindiger Deichkerne je nach Konstruktion (z. B. Seedeich Brieskow-Finkenheerd),
- Material zur Deichlückenschließung, d. h. Verzahnung mit Deichabschnitten, die vollständig oder teilweise aus bindigem Material aufgebaut sind.

Für diese Einsatzzwecke sind grundsätzlich alle Bodenarten und Materialien verwendbar, die verdichtbar sind, die gewünschte Dichtungswirkung ergeben, sich nicht zersetzen oder auflösen, die Standsicherheit des Deiches nicht gefährden und das Grundwasser nicht schädigen (vgl. DVWK 1986). Im hier betrachteten Raum kommen als bindige Rohstoffe für Deichbauten Geschiebemergel, Bändertone und Auelehme, sowie mit Einschränkungen Holsteintone und tertiäre Septarientone in Betracht. Grundsätzlich werden diese Rohstoffe nicht für Havarieeinsätze, sondern für nachträgliche Deichsanierungen oder Deichinstandsetzungsarbeiten benötigt, der Abbau kann daher längerfristig geplant und vorbereitet werden. Wichtige Parameter für bindige Rohstoffe, die als Deichbaumaterial Verwendung finden sollen, sind der Durchlässigkeitsbeiwert (k_f -Wert), der bei ca. 10^{-7} m/s liegen sollte, und die Verdichtungsfähigkeit.

5.2. Geschiebemergel

Geschiebemergel stellen keinen volkswirtschaftlich relevanten Steine- und Erdenrohstoff im engeren Sinne dar, daher wurden durch das LGRB auch keine ausgesprochenen Geschiebemergellagerstätten kartiert. Zur Ausgrenzung von Geschiebemergelvorkommen sollte daher ein Rückgriff auf Grundlagenmaterialien erfolgen, wie geologische Karten und Schichtenverzeichnisse von Bohrungen.



Abb. 5

Dieselbe Stelle nach Verfüllung der Auskolkung, während der Verdichtung des eingebauten Materials am 01.10.1997.

Foto: T. Höding

Zu den im Nachgang des Sommerhochwassers 1997 notwendigen Sanierungsarbeiten an den Deichen boten und bieten sich insbesondere folgende Kategorien von Vorkommen an:

1. Geschiebemergelaushub: Nutzung der Aushubmaterialien von Baumaßnahmen. - Insbesondere Geschiebemergelaushub aus Baugruben im Stadtgebiet von Frankfurt/Oder wurde tatsächlich beim Deichneubau nahe Aurith in der Ziltendorfer Niederung genutzt.
2. Geschiebemergel aus bauenden Lagerstätten: In einigen Sand- und Kiesgruben fällt Geschiebemergel als nicht verwertbare Einschaltung an (z. B. treten lokal in der Grube Lossow ca. 4 m mächtige Geschiebemergel auf).
3. Geschiebemergel der Hochflächen: Geschiebemergel stehen auf den Hochflächen westlich des Odertals weiträumig an, teilweise durch geringmächtige Sande überdeckt. Ihre Mächtigkeit wurde bei zahlreichen Bohrungen und Kartierungsarbeiten bestimmt, eine Ausgrenzung potentieller Abbaugebiete ist geologisch ohne Probleme möglich. Ihre Mächtigkeit schwankt von wenigen Metern bis hin zu extremen Mächtigkeiten (bei Bohrungsarbeiten für die Altbergbausanierung bei Finkenheerd wurden 40 m mächtige Geschiebemergel erbohrt, in Flemsdorf bei Angermünde stehen bis zu 118 m mächtige Geschiebemergelkomplexe an).
4. Geschiebemergel der Terrassenränder: Potentielle Geschiebemergelvorkommen befinden sich oftmals an den Terrassenrändern zum eigentlichen holozänen Niederungsgebiet (Ausbisse angeschnittener älterer Geschiebemergel, Abschlämmassen), z. B. südöstlich von Vogelsang, deutlich nach der geologischen Karte abzugrenzen (GROSSER et al. 1961).

Im hier betrachteten Gebiet treten weichselkaltzeitliche und saalekaltzeitliche Geschiebemergel auf. Während die Weichselmergel mehr sandig-schluffig ausgebildet sind und meist Mächtigkeiten von durchschnittlich 4 m aufweisen, sind die Saalemergel wesentlich fetter, plastischer und dichter ausgeprägt und weisen im allgemeinen größere Mächtigkeiten auf. Als Deichbaumaterialien sind die saalekaltzeitlichen Geschiebemergel daher generell besser geeignet. Ihrer tatsächlichen Verwendung sollte jedoch immer eine Untersuchung wesentlicher Parameter vorausgehen.

5.3. Bändertone

Bändertone sind pleistozäne glazilimnische Ablagerungen in Stauseen, die sowohl im Gletschervorland als auch im Bereich des abschmelzenden Gletschers in glazial vorgeformten Geländedepressionen entstanden. Der Hinweis auf die Bänderung bezieht sich auf den rhythmischen Wechsel von tonigen und schluffig-feinsandigen Lagen, meist ein Zeichen jahreszeitlich bedingter Sedimentationsschwankungen.

Im weiteren Betrachtungsraum ist derzeit lediglich die Bänder-tonlagerstätte Herzfelde bei Rüdersdorf (L 3548) aufgeschlossen, obwohl Bänder-tonvorkommen an sich im östlichen Brandenburg keine Seltenheit sind. Die Bänder-tone von Herzfelde haben einen k_f -Wert von ca. 10^{-10} m/s und wären damit als Abdichtungsmaterial gut geeignet. Allerdings ist die Transportentfernung relativ groß. Zukünftig aufgeschlossen wird die Lagerstätte Rosengarten bei Frankfurt/Oder (L 3752), der genaue Zeitpunkt ist jedoch noch nicht klar. In Rosengarten stehen elsterglaziale Bänder-tone an, die aufgrund ihrer hohen Anteile an mixed-layer-Mineralen noch geringere Durchlässigkeiten erwarten lassen (ca. 10^{-11} m/s). Für eine Gewinnung von Bänder-tonen geeignet sind auch die Restlöcher der ehemaligen Ziegelei Regina bei Neuenhagen auf der

Neuenhagener Oderinsel (L 3150). Über die Vorräte in den Restlöchern hinaus existiert dort auch ein vorkundetes Feld östlich der ehemaligen Abbaue. An diesen Rohstoffen führte das LGRB 1995/96 rohstofftechnologische Untersuchungen durch und ermittelte u. a. k_f -Werte von $3,5 \times 10^{-10}$ m/s. Weitere abgeworfene Lagerstätten mit Restvorräten an Bändertonen sind die Restlöcher bei Stolzenhagen (L 2752, sehr gute Aufschlußverhältnisse), Gartz (L 2752) und Mescherin (L 2752). Laut KOR 50 des LGRB existieren auch im Stadtgebiet von Frankfurt/Oder bzw. in dessen näherer Umgebung eine Reihe von ehemaligen Tonabbauen auf Bändertonen. Diese Abbaue sind jedoch nicht mehr reaktivierbar, teils aufgrund Vorratserschöpfung, teils wegen Bebauung.

5.4. Auelehme

Auelehme entstanden durch Ablagerung feiner und feinsten Bestandteile der Flußtrübe bei Überschwemmungen der Flußniederungen. Sie sind meist sehr gut plastisch und gut verdichtbar. In den Oderniederungen erreichen die Auelehme Mächtigkeiten von durchschnittlich 3 m + lokal bis 8 m. Im Bereich der Ziltendorfer und Neuzeller Niederung bildeten Auelehme Mitte bis Ende des vorigen Jahrhunderts die Rohstoffbasis für mehrere Ziegeleien. Nach rohstoffgeologischen Untersuchungen des LGRB und vergleichenden Betrachtungen mit den Auelehmen der Elbtalau, wo das LGRB die Aufsuchung und Gewinnung von Auelehmen für Deichbauarbeiten 1993 geologisch begleitete, erreichen diese Rohstoffe k_f -Werte von 10^{-7} bis 10^{-8} m/s.

Auelehme kommen im gesamten jungquartären und holozänen Überflutungsbereich der Oder vor. Sie sind in der KOR 50 nicht als Rohstoffhöflichkeiten auskartiert, da die Gewinnung dieses Rohstoffs für industrielle Zwecke wegen der großen Flächendevastierung derzeit keine Akzeptanz erfährt (vgl. HÖDING et al. 1995). Die zur Beseitigung von Hochwasserschäden an den Deichen notwendige Gewinnung von bindigen Materialien könnte auch das Bewußtsein, daß es sich bei den Auelehmen um wertvolle, vielseitig einsetzbare Rohstoffe handelt, wieder stärken. Die Verbreitung dieser Überflutungssedimente ist recht deutlich mit Hilfe der Geologischen Karten 1 : 25 000 abgrenzbar (z. B. im Oderbruch, im Stolper Bogen, in der Ziltendorfer Niederung), teilweise werden die Auelehme durch Torfe bedeckt. Der weit verbreiteten Meinung, die flächenhafte Ausdehnung und die Mächtigkeiten von Auelehmen seien im Oderbereich weitgehend unbekannt, und damit könne dieser Rohstoff nicht genutzt werden, steht auch die ausführliche Kartierung der Oderbruchsedimente (Auelehm einschließlich organogener Sedimente) durch EYRICH & APEL (1971) entgegen.

Als spezieller Nutzungsaspekt ist beim Einsatz von Auelehmen für Deichbaumaßnahmen zu beachten, daß sie nach ihrer Gewinnung zunächst längere Zeit zur Entwässerung gehalten werden müssen, um die gewünschte Verarbeitbarkeit zu erreichen. Es ist also angeraten, künftig bei bauvorbereitenden Aushubmaßnahmen anfallende Auelehme unter dem vorgenannten Gesichtspunkt in Auelehmdeponien aufzuhalten und damit für nachfolgende Deichbaumaßnahmen gezielt vorzuhalten.

5.5. Weitere Tonrohstoffe

Wie unter 5.1 erwähnt, stehen mit Holsteintonen und tertiären Septarientonen prinzipiell weitere natürliche bindige Materialien für Deichbauten im Oderraum zur Verfügung. Die sogenannten Holsteintone sind in der Holstein-Warmzeit entstandene limnische Tone, die sich insbesondere durch das Auftreten von Diatomeen auszeichnen. Diese Tone sind im Bereich des Fünfeichener Beckens geologisch kartiert worden, aufgeschlossen sind sie bei Eisenhüttenstadt-Schönfließ (L 3952), nachgewiesen ferner bei Pohlitz nahe Eisenhüttenstadt. Diese Materialien erfüllen grundsätzlich die Forderungen, die an Abdichtungsmaterial für Deichbauten gestellt werden, allerdings ist die Vorratsbasis auf geringe Restvorräte beschränkt (0,94 bzw. 1,11 Mill. t). Da die Grube bei Eisenhüttenstadt-Schönfließ überdies seit 1986 als Geotop geschützt ist, sollte auf andere Vorkommen bindiger Materialien zurückgegriffen werden.

Im betrachteten Gebiet existieren ferner mehrere Lagerstätten tertiärer Septarientone in Form wurzelloser Tertiärschollen, die vom Inlandeis abgehobelt und mehr oder weniger weit transportiert wurden. Diese Tonrohstoffe gehören aufgrund ihrer mineralogischen und technologischen Kennwerte zu den hochwertigsten Tonen in Brandenburg (Einsatz u. a. als Rohstoffe für die Herstellung von Drainrohren, Klinkern sowie für Deponieabdichtungen). Ihr k_f -Wert liegt bei 10^{-11} m/s.

Im Sinne eines eigenschaftsgerechten Einsatzes dieser Rohstoffe (HÖDING & PAWLITZKY 1995) sollten Septarientone möglichst nur für ausgewählte Deichbauabschnitte verwendet werden. Lagerstätten von Septarientonen befinden sich bei Bad Freienwalde (L 3348/L 3350), Welsow (L 2950) und Joachimsthal (L 3148), wobei die Lagerstätte Bad Freienwalde die derzeit einzig bauende ist.

6. Zusammenfassung

In Auswertung des Lagerstättenüberblicks und des Kenntnisstandes zu den einzelnen für Deichbaumaßnahmen geeigneten Rohstoffen im Oderraum ist einzuschätzen, daß Kiese und Sande mengenmäßig und vom Verteilungsmuster entlang der Oder vom geologischen Standpunkt her ausreichend zur Verfügung stehen. Für ein Krisenfallszenario, das die schnellstmögliche Verfügbarkeit großer Mengen an Kiese und Sanden beinhaltet, sollten im Sinne einer logistischen und Kosten-Optimierung bestimmte Lagerstätten ausgewählt werden, auf deren Rohstoffe ein Zugriff erfolgen kann. Der Reaktivierung von Restlöchern kommt dabei sowohl für den akuten Hochwassereinsatz als auch für Sanierungs- und Neubauarbeiten an Deichanlagen besondere Bedeutung zu. Die Verteilung von natürlichen bindigen Materialien für Deichbaumaßnahmen im Oderraum ist dagegen sowohl nach Art der Rohstoffe als auch nach ihrer Verteilung differenzierter. Während Geschiebemergel weitaushaltend im gesamten Bereich gewinnbar sind, ist das Rohstoffdargebot für höhere Anforderungen begrenzt. Zu den hoheitlichen Aufgaben des LGRB als der geologischen Fachbehörde des Landes Brandenburg gehört es auch, rohstoff- und lagerstättenkundliche Daten dieser Art zu sammeln, zu archivieren

und unter verschiedenen Aspekten zu bewerten. Daraus resultiert ein Kenntnisvorlauf, der beim Eintritt unvorhergesehener Situationen wie z. B. der des Sommerhochwassers 1997 an der Oder, nutzbar ist.

Literatur

- BARTMANN, W. (1995): Archive, Bibliothek und Vertrieb im LGRB. - Brandenburg. Geowiss. Beitr. 2 (1995) 1, 140 - 144.
- BROSE, F. (1995): Genese und anthropogene Überformung des Oderbruchs. - In: SCHIRMER, W. (ed.): Quartary field trips in Central Europe, Vol. 4, S. 1302 - 1308, München.
- DVWK (1986): DVWK - Merkblätter zur Wasserwirtschaft; 210. Flußdeiche, Hochwasserschutz. - Hamburg und Berlin 1986.
- EYRICH, A. & P. APEL (1971): Geologische Untersuchungen im Oderbruch. Isopachenkarte des Auelehms 1 : 50 000. - GFE Berlin, unveröff. Bericht.
- GROSSER, P., HANNEMANN, M. & F. MAUDREI (1961): Geologische Karte der Deutschen Demokratischen Republik, Blatt Fünfeichen-Fürstenberg (3853-54), Berlin.
- HÖDING, T. & M. PAWLITZKY (1995): Applikationsmöglichkeiten von Tonmineralrohstoffen aus Lagerstätten des Landes Brandenburg. - Proc. 5. Neubrandenburger Industriemineralsymposium, S. 91 - 94.
- HÖDING, T., SCHIRRMESTER, L. & M. PAWLITZKY (1995): Stand der Untersuchungen quartärer Tone Brandenburgs als Rohstoffe für die Grobkeramik und den Umweltschutz. - Brandenburg. Geowiss. Beitr. 2 (1995) 1, 105 - 112.
- LGRB (1997): Rohstoffgeologische Karte von Brandenburg 1 : 50 000, Karte der oberflächennahen Rohstoffe (KOR 50), Blätter L 2752 Gartz (Oder), L 2950 Schwedt (Oder), L 3150 Oderberg, L 3350 Bad Freienwalde, L 3352 Letschin, L 3552 Seelow, L 3752 Frankfurt (Oder), L 3952 Eisenhüttenstadt, L 3954 Eisenhüttenstadt-Ost.
- MANHENKE, V., HÖDING, T., PAWLITZKY, M. (1997): Die Karte der oberflächennahen Rohstoffe im Maßstab 1 : 50 000 (KOR 50) für das Land Brandenburg - Rohstoffsicherung Steine und Erden. - Brandenburg. Geowiss. Beitr. 4 (1997) 1, S. 16 - 18.
- MWMT (1993): Erfassung oberflächennaher Rohstoffe im Land Brandenburg. - Erlaß des Ministers für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie vom 6. September 1993. Amtsbl. Brandenb. Nr. 78, S. 1540.
- WOELFER, T. (1893): Geologische Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten, Blatt Letschin (Gradabteilung 46, No. 19) Berlin. (Blatt 3352)

Mitteilung aus dem Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg No. 117

Anschrift der Autoren:

Dr. Thomas Höding

Dipl.-Geol. Frank Ludwig

Dr. habil. Fritz Brose

Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg

Stahnsdorfer Damm 77

14532 Kleinmachnow

Brandenburgische Geowiss. Beitr.	Kleinmachnow	5 (1998), 1	S. 75 – 80	5 Abb., 19 Lit.
----------------------------------	--------------	-------------	------------	-----------------

Die Entwicklung der nordostdeutschen Ströme unter dem Einfluß jüngster tektonischer Bewegungen

FRANK SIROCKO

1. Einleitung

Überschwemmungen in den Flußniederungen haben im Sommer 1997 verheerende Verwüstungen in Polen, Tschechien und Ostdeutschland hinterlassen. Die primäre Ursache des Hochwassers waren kurzfristig auf das Fünffache erhöhte Niederschläge im Einzugsgebiet der Oder und Weichsel, verursacht durch eine 5b-Wetterlage im Juni, eine Konstellation, die an sich noch nichts Außergewöhnliches darstellt und sich jederzeit wiederholen kann, auch im Einzugsgebiet der Elbe. Auf der deutschen Oderseite kam es in der Ziltendorfer Niederung zu einem Deichbruch und vollständiger Überschwemmung der Flußaue, im nördlichen Oderbruch konnte der Deichbruch in letzter Sekunde verhindert werden. Die Frage, die sich unweigerlich stellt, und bislang noch nicht beantwortet wurde, ist, warum es gerade an diesen beiden Orten zum Deichbruch kam.

Geologische Untersuchungen des Untergrundes im Umfeld des Beinahe-Deichbruchs bei Hohenwutzen zeigen eine mehrere Meter mächtige Torffüllung eines Altarmes direkt unter

dem Deich, so daß hier die unmittelbare Ursache der Deichinstabilität ein Grundbruch im durchfeuchteten Untergrund war. Bleibt die Frage, warum es gerade bei Hohenwutzen und nicht auch in anderen ähnlichen Situationen (Deich über humusreichen Altarmniederungen) zum Grundbruch gekommen ist. Für den Deichbruch in der Ziltendorfer Niederung liegt die Sachlage ähnlich. Satellitenbilder, die leider erst lange nach der Katastrophe verfügbar wurden, zeigen im Vordeichbereich Vernässungshorizonte, die für die vollständige Durchnässung des Deichs offenbar ausschlaggebend waren. Die primäre Ursache des Deichrutsches ist also wiederum klar. Bleibt die Frage, was diese Vernässungszonen verursacht hat. Eine detaillierte geologisch-geophysikalische Untersuchung auch des tieferen Untergrundes in dieser Region steht noch aus. Im vorliegenden Beitrag wird die Entwicklung der Oder im Kontext der anderen Ströme Norddeutschlands betrachtet, um die grundlegenden Prinzipien der Flußentwicklung in dieser Region zu analysieren und für die Bewertung der Ursachen hinter dem jüngsten Oderhochwasser nutzbar zu machen.

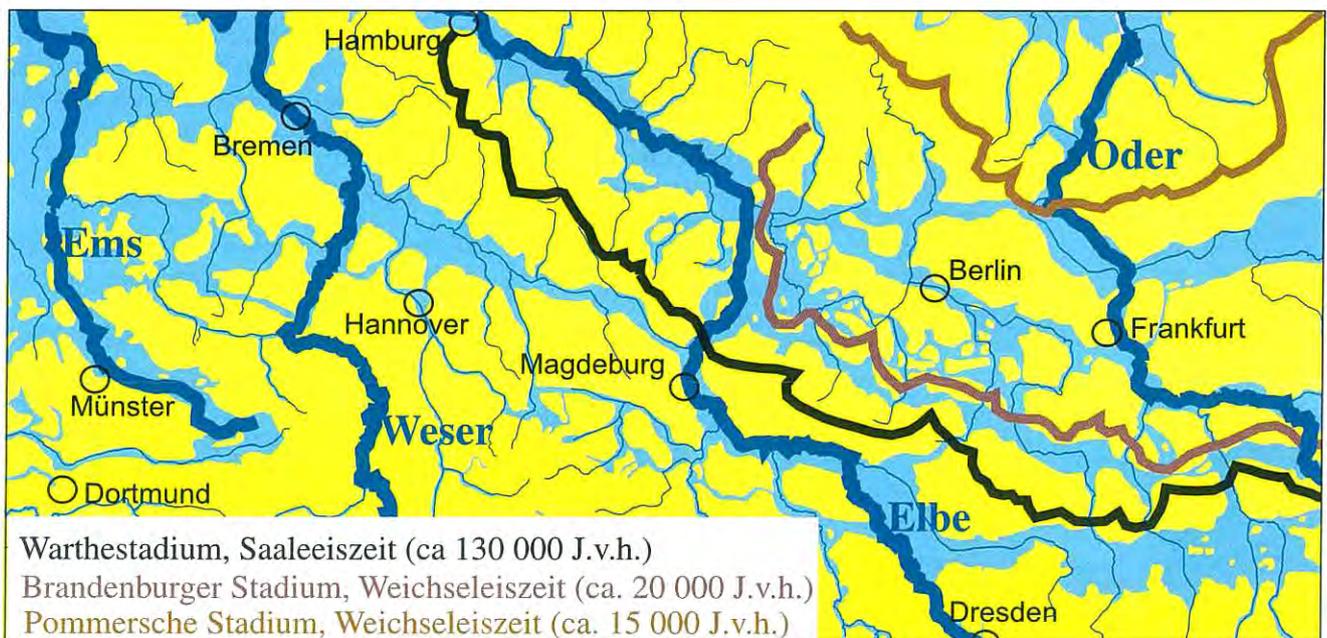


Abb. 1
Flußnetz, Niederterrasse, Moränenwälle (nach LIEDTKE 1981)

2. Eiszeitliche Vorgeschichte

In Abbildung 1 ist das Netz der Flüsse und Ströme im norddeutschen Tiefland von den Niederlanden bis nach Polen dargestellt. Schon auf den ersten Blick verblüfft es, daß Elbe und Weser ein fast identisches Fließmuster zeigen, welches sich ebenfalls im Verlauf von Oder und Ems andeutet. Etwa auf Höhe des Harznordrandes wenden sich die großen Ströme scharf nach Westen, um nach ca. 50 km Fließstrecke mit einer 90° Wendung nach Norden umzubiegen und nach weiteren ca. 100 km wieder scharf nach Nordwesten zu fließen (mit Ausnahme des Unterlaufes der Oder, die nach Nordosten strömt). Das doppelte Umbiegen der Flüsse weist schon in Richtung auf eine Beeinflussung der Stromverläufe durch tektonische Prozesse, da ein sich frei aus Niederschlägen und Topographie entwickelndes Flußnetz solche scharfen Knik-ke nicht aufweist. Zur Erklärung dieser Muster werden wir im folgenden die Entwicklung der heutigen Ströme aus den eiszeitlichen Urströmen nachzuvollziehen (Abb. 1), danach die geologischen Strukturen in der Tiefe des Norddeutschen Beckens betrachten (Abb. 2, 3, 4), um dann die jüngsten tektonischen Verstellungen darzustellen und letztendlich die Deichbrüche in der Ziltendorfer Niederung und im Oderbruch auf dieser Grundlage zu diskutieren (Abb. 5).

Die maximale Südausdehnung der skandinavischen Festlands-gletscher in das norddeutsche Tiefland während der letzten Eiszeit geschah vor 20 000 Jahren und hinterließ entlang einer Li-

nie von Perleberg nach Süden, weiter nach Südosten über Brandenburg, Potsdam, Cottbus eine verfolgbare Randlage (Abb. 2). Vor dem Eisrand wurde das Schmelzwasser im Baruther Urstromtal nach Westen geführt und fand über den Unterlauf der Elbe seinen Weg in die Nordsee. Eine Reihe von Rückzugsstaffeln (jede mit einem eigenen kleineren Urstromtal) markiert den Rückzug des Eises etwa in der Zeit von 16 000 bis 12 000 Jahren vor heute. Die heutige Oder fließt von polnischer Seite her im Urstromtal der ersten Rückzugstaffel, verläßt dann aber im Bereich der Neißemündung ihren vorgezeichneten Weg nach Westen und schwenkt nach Norden ein, durchbricht dabei die Endmoränenzüge und Sanderebenen der Rückzugsstaffeln. Auf Höhe des nördlichen Oderbruchs (in unmittelbarer Nähe des Beinahe-Deichbruches) durchbricht die Oder die bis zu 80 m hohe Eisrandlage des Pommerschen Stadiums und ändert ihre Fließrichtung nach Nordost.

Während der Saalevereisung, vor ca. 130 000 Jahren, war das skandinavische Eis weiter nach Süden vorgedrungen, insbesondere in Niedersachsen. Die Maximalausdehnung reichte von Magdeburg über Hannover und weiter in die Niederlande. Die kräftigsten Endmoränen in Niedersachsen stammen aber aus der Spätphase der Saalezeit (Warthe-Stadium, s. Abb. 1), als der Eisrand über Magdeburg nach Hamburg führte, vorgelagert von weiten Sanderflächen, die sich in Niedersachsen bis Bremen ausdehnten. Das zugehörige Bres-

lau-Bremer Urstromtal wird heute von der Schwarzen Elster, Elbe, Ohre, Aller und Weser eingenommen. Eine Wasserscheide zwischen Ohre und Aller unterbricht heute den durchgehenden Gradienten in diesem Urstromtal und weist auf eine Absenkung des Untergrundes im Magdeburger Raum bzw. auf eine relative Hebung im Harzvorland hin. Im Zentrum dieser Senke nördlich Magdeburg fließt die Elbe heute nach Norden. Was veranlaßte nun die Elbe zu dieser Nordwendung entlang einer Linie, die auch schon die Westgrenze des brandenburgischen Eislobus während der Weichselzeit darstellte?

3. Tiefenbau und Neotektonik

Die Antwort kommt aus dem tieferen Untergrund des Norddeutschen Beckens, das etwa auf eine Tiefe von 8 km unter der heutigen Oberfläche abgesunken ist (s. Abb. 2). Dieses SE-NW streichende Becken entwickelte sich im frühen Perm und füllte sich bald mit fluviatilen Sedimenten, Vulkaniten und mächtigen Salzserien von England bis Polen. Die Absenkung des Beckens hielt während des gesamten Erdmittelalters mit einer durchschnittlichen Sedimentationsrate von 0,03 mm/Jahr an, erreichte zeitweilig aber deutliche höhere Raten, z.B. 0,9 mm/Jahr seit dem mittleren Tertiär (STACKEBRANDT et al. 1997). Ein extrem kräftiges, lokales Absenkungszentrum liegt unter der Prignitz, wo seit

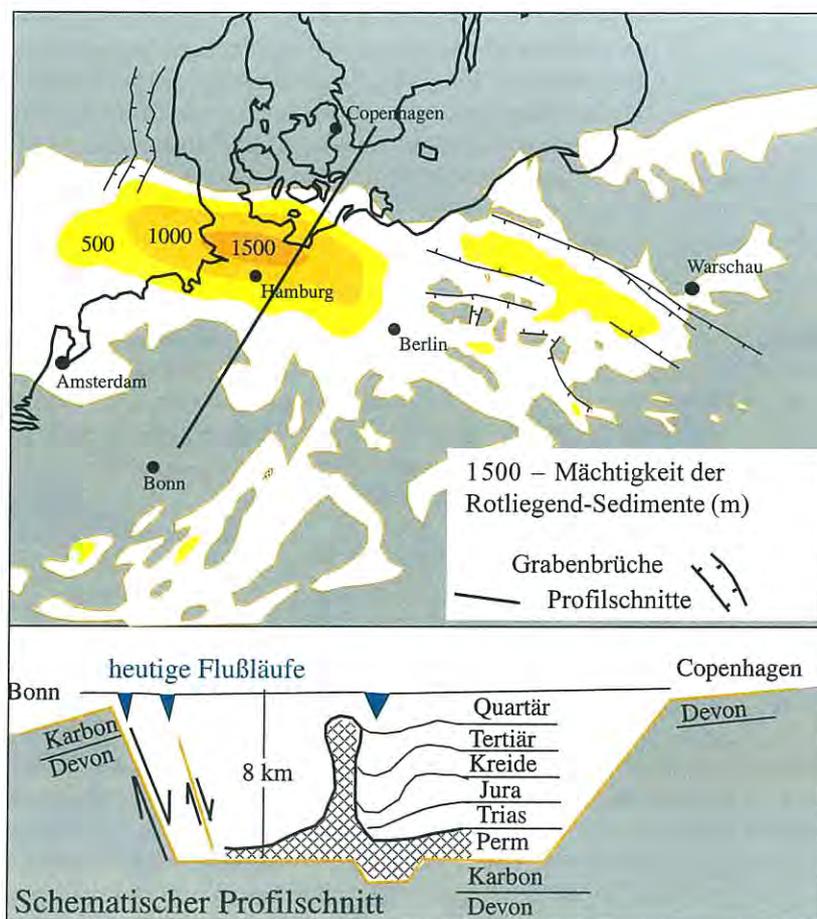


Abb. 2
Beginn der Beckenbildung in Norddeutschland (nach ZIEGLER 1982)

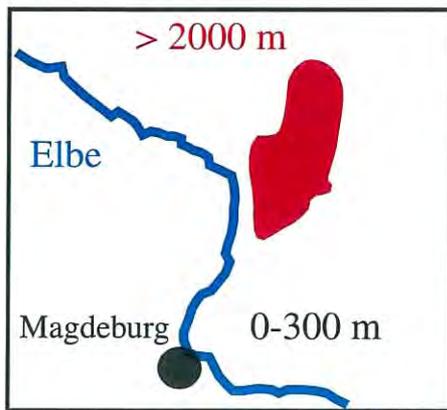


Abb. 3
Sedimentmächtigkeiten der Obertrias-Unterkreide (nach SCHECK 1997)

Beginn der Beckenbildung vor 300 Mio Jahren etwa 10 km Sediment und Vulkanite akkumuliert sind (SCHECK 1997). Die nordgerichtete Strecke der Elbe bei Magdeburg fließt auch heute in dieses Subsidenzzentrum (Abb. 3). Entweder ist die tektonische Absenkung in dieser Region also noch aktiv oder die mächtigen Serien aus dem Tertiär und Quartär setzen sich allein unter Einwirkung der Schwerkraft.

Eine weitere Besonderheit des Norddeutschen Beckens sind die weitverbreiteten Salzstöcke. Das permische Salz (verstärkt durch Salze aus der Trias) dringt entlang von Störungszonen

aufgrund seiner geringeren Dichte gegenüber normalen Gesteinen in das Deckgebirge ein und formt Diapire, die z.T. bis an die Erdoberfläche reichen (s. Abb. 2). Das Bezugsniveau der Salzstöcke in Abbildung 4 ist die Unterkreidebasis in den alten Bundesländern (KOCKEL et al. 1995), in den neuen Bundesländern die Tertiärbasis (Karte der Deutschen Demokratischen Republik 1 : 500 000 - Karte ohne känozoische Bildungen). Diese hochaufreichenden Diapire, die sich in Nordniedersachsen und unter der Nordsee zu Salzmauern vereinigen, bildeten sich nur bei großer Mächtigkeit der Salzlager. Während des starken Salzaufstiegs zur Zeit der alpidischen Gebirgsbildung (Kreide, Tertiär) bildeten sich kräftige Randsenken rund um die Hebungszentren (siehe schematischen Profilschnitt in Abb. 2). Die Bildung der Randsenken muß aber auch im Quartär noch angehalten haben, da zumindest die Flüsse Ostniedersachsens bevorzugt zwischen den Salzmauern fließen (z. B. die Ilmenau südlich Hamburg) oder genau an den Salzstöcken, wenn diese entlang tektonischen Lineamenten aufgestiegen sind (z. B. die Aller über dem Aller-Lineament) (s. Abb. 4). Auch die Elbe zwischen Wittenberge und Cuxhaven schlängelt sich von Randsenke zu Randsenke und schneidet nur die Salzmauer von Rambow, an dessen Südflanke der Salzstock von Gorleben liegt. Offensichtlich war der Großteil der Salzstöcke dieser Region auch nach dem Warthe-Stadium der Saaleeiszeit noch im Aufstieg begriffen und über diesen Prozeß haben die Salzstöcke in Ost-Niedersachsen einen Einfluß auf das heutige Flußnetz.

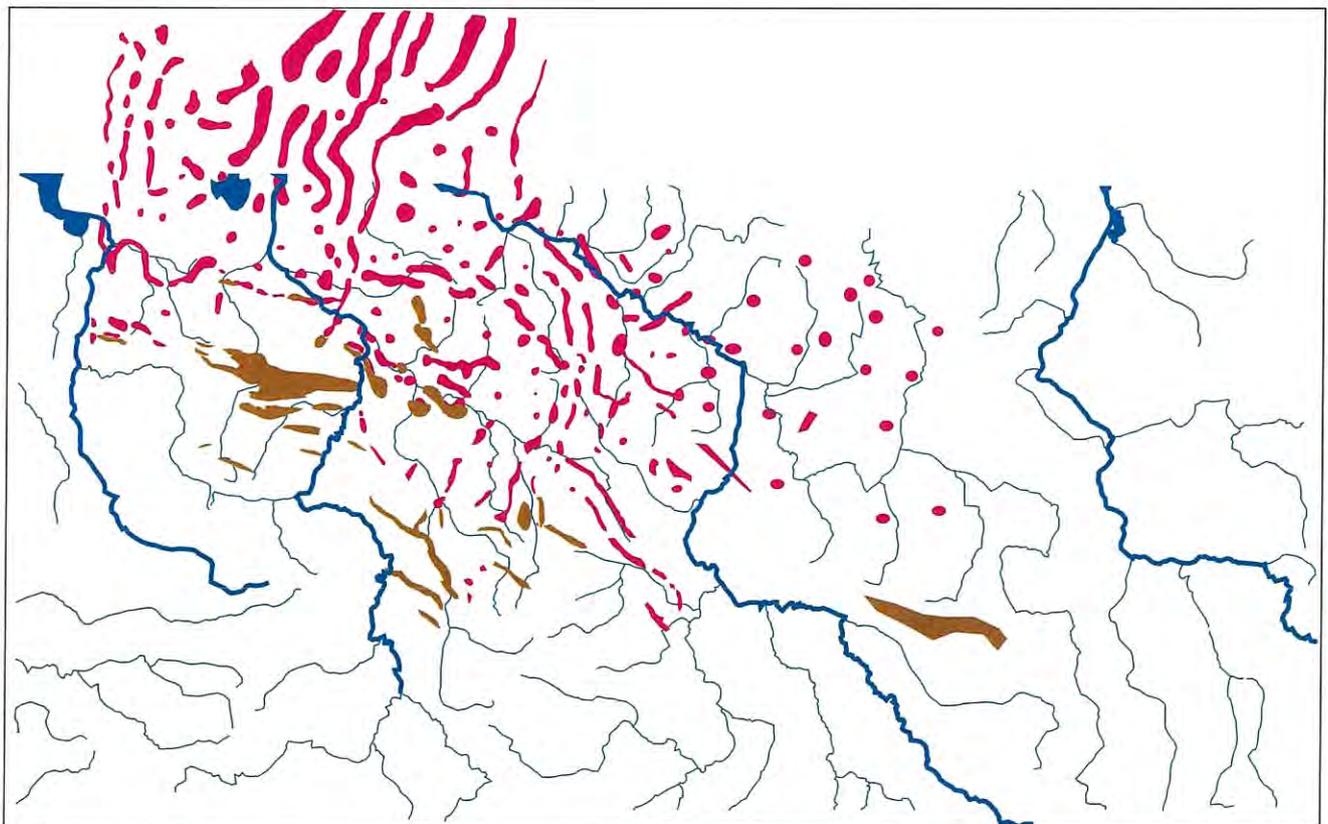


Abb. 4
Salzstöcke, Salzeinpressungen (nach KOCKEL et al. 1995 und Geologische Karte der DDR ohne känozoische Bildungen 1 : 500 000, ZGI Berlin 1962)

In Ostdeutschland dagegen (im Randbereich der permischen Salzlager, s. Abb. 2) sind die Salze geringmächtig und bilden lediglich Salzkissen, nur sehr vereinzelt echte Diapire. Die Salzkissen zeigen über ihren Aufwölbungszentren eine Dehnungstektonik mit lokalen Grabenbrüchen (siehe z. B. Geologische Karte der DDR ohne känozoische Bildungen). Fast alle der tiefreichenden Störungen berühren die Flanken der Salzkissen. Ein Teil dieser Störungen (bekanntestes Beispiel ist der Lausitzer Hauptabbruch) ist auch heute noch aktiv, wie eine zweifache geodätische Vermessung des Gebietes der ehemaligen DDR zeigte (Abb. 5). Eine Schar von SE-NW streichenden tektonischen Störungslinien durchschnei-

der Spree sind ebenfalls mit rezenten Störungen verbunden. Ähnliches gilt für Havel, Neiße und Oder. Die Richtung dieses heute noch aktiven Störungsfeldes ist herzynisch. Eingepreßt in die Abschiebungsstörungen des Beckens finden sich verbreitet Salinare des Perm (s. Abb. 2), die in Abbildung 4 dunkelviolett ausgewiesen sind. Die südlichsten Ausläufer dieser Salzintrusionen befinden sich in Südbrandenburg und Südniedersachsen und kennzeichnen die äußersten Randstörungen des Norddeutschen Beckens (KOCKEL et al. 1995), an denen eine scharfe Verlagerung der Fließrichtung von Elbe und Weser nach Westen stattfindet. Offensichtlich folgen die großen Ströme nach Verlassen der Mittelgebirge erst einmal

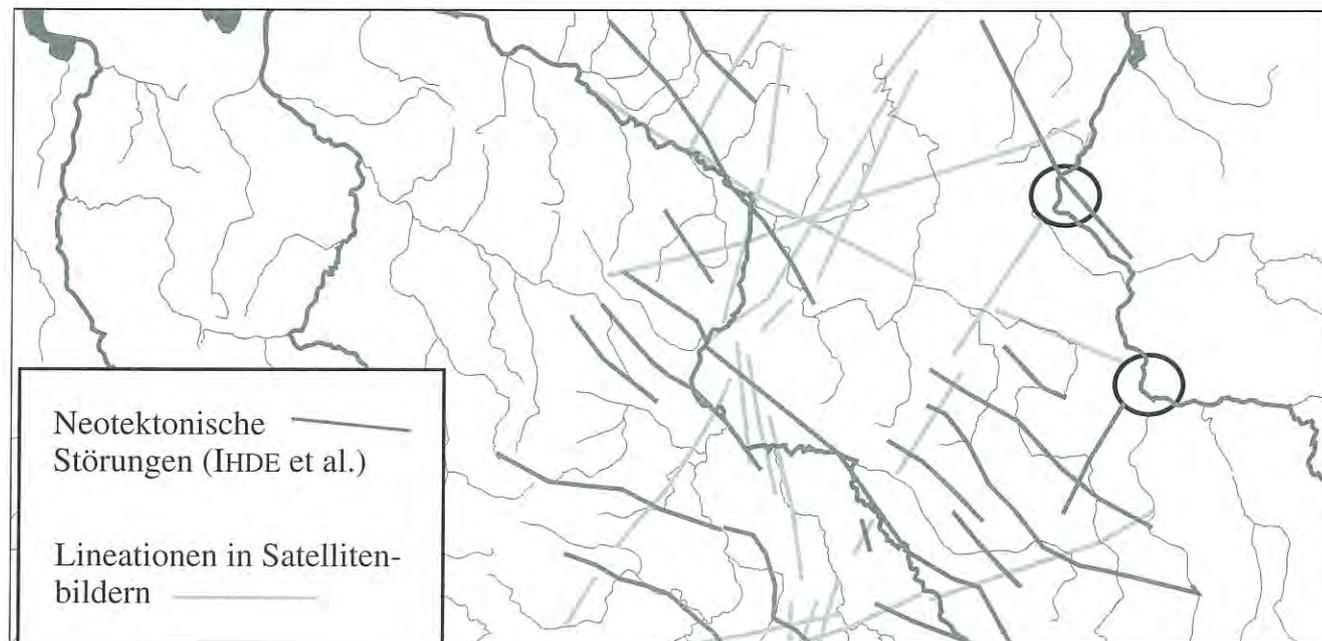


Abb. 5
Jüngste tektonische Strukturen

det die Landschaft, die auch heute nach der wiederholten Fein-Vermessung durch Absenkungsbewegungen mit lokalen Unterschieden von 0,5 bis 2,5 mm/Jahr ausgewiesen ist (IHDE et al. 1987). Das Maximum dieser jüngsten Krustensenkungen liegt im Magdeburger Raum und zeigt, daß selbst die jüngsten tektonischen Bewegungen mit deutlich größeren Absolutbeträgen als das langfristige Mittel der Absenkung des norddeutschen Beckens aktiv sind (10 km seit dem Perm vor 300 Mio Jahren, entspricht 0,03 mm/Jahr). Wenn die rezenten Vertikalbewegungen also nicht nur auf Setzung der mächtigen Quartär- und Tertiärsedimente beruhen, ist die Beckenbildung unter dem norddeutschen Tiefland noch heute aktiv.

Für diese ebenfalls von den Bearbeitern des Projektes „Neogeodynamica Baltica“ (FRISCHBUTTER & SCHWAB 1995, LUDWIG & SCHWAB 1995) vertretene These spricht auch, daß der Verlauf der heutigen Flüsse deutliche Bezüge zu der Struktur der neotektonisch aktiven Störungen aufweist. So fließt die Elbe in drei Abschnitten direkt auf den Störungen, alle Knickpunkte liegen im Schnittpunkt von Störungen mit dem Flußlauf. Die verwunderlichen Rechteckwinkel im Verlauf

dieser SE-NW streichenden Randstörungen; damit sind also tatsächlich tektonische Prozesse für die scharfen Umbiegungen in den Flußläufen verantwortlich und schon die Urstromtäler der Eiszeiten folgten z.T. diesen Strukturen.

Die Beurteilung des Einflusses geologischer Tiefenstrukturen auf das heutige Landschaftsbild wird seit Beginn der geologischen Oderforschung im ausgehenden 19. Jahrhundert sehr unterschiedlich vorgenommen. Ebenso kontrovers sind die Positionen zur Geschichte des nördlichsten Urstromtales, welches z. B. WOLDSTEDT (1931) und später LIEDTKE (1956/57) vom Warthetal durch das Oderbruch, an Eberswalde vorbei zur Havel verlaufen lassen (s. Abb. 1). Ein solcher Verlauf ist nur möglich, wenn das Oderbruch (heute auf ca. 3 m über NN) mit 30 m Toteis verfüllt gewesen wäre, da das Urstromtal bei Eberswalde auf ca. 33 m über NN liegt, eine Sprunghöhe, die heute von dem Schiffshebewerk bei Niederfinow überwunden wird. Diese Urstromtalentwicklung steht in Widerspruch zu den Auffassungen von SOLGER (1930), der neotektonische (eisisostatisch-angeregte) Verstellungen als Ursache des tief eingeschnittenen Odertals ansieht, und ein eisrandparalleles Urstromtal von der Warthe über das

Oderbruch in die Senke des Finowkanals für unmöglich erachtet. Neotektonische Einflüsse werden auch von einer Reihe anderer Autoren zumindest für Teilaspekte der Odertalentwicklung angenommen, z. B. v. BÜLOW (1934). Diese tektonisch orientierte Sichtweise konnte sich in den kommenden Jahren nicht durchsetzen, während die Urstomtalbildung und die Toteishypothese in vielen Punkten auch von nachfolgenden Bearbeitern aufgenommen und weiterentwickelt wurde, z. B. von HANNEMANN (1970) und CEPEK (1973).

Eine Erklärung für die Existenz der Oderbruchdepression an sich gibt die Toteistheorie aber nicht, es wird lediglich angenommen, daß eine vorhandene Senke zur Zeit der Urstomtalbildung mit Toteis verschüttet wurde. HANNEMANN (1970) zeigt über die Auswertung einer Vielzahl von Bohrungen, daß die Tertiärbasisfläche keine tiefreichende Beckenstruktur unter dem Odertal aufweist, es somit keine großräumig tektonisch verursachte Absenkung in der Region gegeben hat, wohl aber ein Senke mit mächtigen saalezeitlichen Geschiebemergeln. Weitverbreitete weichselzeitliche Beckentone und Bänderschluße sind deutliche Anzeiger, daß diese Senke auch in der letzten Eiszeit ausgebildet war (SCHIRRMESTER 1997). BROSE (1994) weist über eine Datierung der nacheiszeitlichen Auen-sedimente nach, daß die Odertalsole am Ausgang der Eiszeit um 45 m tiefer lag als heute, d. h. auf -40 m NN. Er erklärt dies durch eine Absenkung der Erosionbasis der Oder im Bölling (nach ^{14}C -Datierung ca. 12 000 J.v.h.), als die Ostsee teilweise eisfrei wurde und bei einem tieferen Meeresspiegel der Gefällegradient im Unterlauf der Oder extrem versteilt war, so daß die Oder sich tief einschneiden konnte. Diese frische Erosionrinne wurde aber mit dem Anstieg des Meeresspiegels bis 7 000 J.v.h. schnell wieder verfüllt.

Als Schlußfolgerung aus diesem sehr kurzen Abriss der Forschungsgeschichte zur Genese des Oderbruchs ergibt sich, daß im Laufe der letzten 70 Jahre extrem unterschiedliche Grundpositionen für die Landschaftsgenese bezogen wurden. Einig sind sich alle Autoren nur darin, daß die Landschaft um das Oderbruch mit einer in Nordostdeutschland extremen Dynamik gestaltet wurde. Die zur Zeit der Arbeiten von SOLGER und LIEDTKE noch unbekanntene neotektonischen Lineamente (s. Abb. 5) und großräumigen Senkungsbewegungen im norddeutschen Tiefland zeigen, daß -entgegen der augenblicklichen dominierenden Lehrbuchmeinung- tektonische Prozesse sehr wohl eine gewisse Rolle für die Entwicklung des Odertals spielen können. Wie müssen diese subrezentten Verstellungen zum Ende der letzten Eiszeit ausgesehen haben, als hunderte Meter mächtige Eisschilde in Norddeutschland die Kruste isostatisch absinken ließen und mit dem Eisrückzug eine erhebliche Hebung einsetzte, die in Skandinavien seit Ende der letzten Eiszeit über 300 m erreicht und in der Oberkruste Norddeutschlands zu einer starken Aktivierung der Streißfelder geführt hat (JOHNSTON et al. 1998)? Das letzte Kapitel in der Erforschung der Geschichte des Odertals ist sicherlich noch nicht geschrieben.

Neben den neotektonischen Störungen kennzeichnen aber noch weitere geologische Strukturen die heutige Landschaft. Die Auswertung linearer Landschaftstrukturen auf Satellitenbildern (KRULL et al. 1985, KRULL & SCHMIDT 1990) zeigt

für Ostdeutschland eine Schar von Lineationen, die offensichtlich unabhängig von den jüngsten tektonischen Störungen ist (grün dargestellt in Abb. 5) und einer rheinischen Richtung entsprechen. Die Ausprägung der Lineationen ist mannigfaltig, z. T. mit der Vegetation, Bodenfeuchte, und Topographie verknüpft. Letztendlich wurden die Satellitenbilder in verschiedenen spektralen Kanälen nur daraufhin ausgewertet, wo sich natürliche lineare Muster bilden, ungeachtet der Ursachen. In jedem Fall ergibt sich ein Muster, das zum Flußnetz Beziehungen aufweist (z.T. aber auch die Flüsse und ihre Ufervegetation selbst enthält). In vielen Fällen sind die Lineationen mit einer guten Wasserwegsamkeit im Untergrund verbunden.

4. Fazit

Kommen wir an dieser Stelle zurück zu unserer Ausgangsfrage nach den möglichen Ursachen der Beinahe- Deichbrüche entlang der Oder im Sommer 1997. Die Lineationen in Ostbrandenburg (aufgenommen in den 80er Jahren) kreuzen die Oder an zwei Punkten: im nördlichen Oderbruch und in der Ziltendorfer Niederung. Die neotektonischen Störungen kreuzen die Oder ebenfalls an zwei Punkten: in der Ziltendorfer Niederung (nicht ganz eindeutig, da die Auswertung der Störung im Stadtgebiet von Eisenhüttenstadt nicht erfolgte) und nördlich des Oderbruchs. Auf dieser Basis sollte man sich fragen, ob der Deichbruch nur über die humosen Ablagerungen unmittelbar unter dem Deich zu erklären ist, oder ob hier nicht rezent aktive Strukturen aus der Tiefe des Beckens ihre Spur hinterlassen. Die beiden Deichbrüche an den einzigen beiden Schnittstellen von sowohl Lineationen als auch neotektonischen Störungen mit dem Flußlauf kann kaum ein Zufall sein.

Es deutet sich daher an, daß eine rein morphogentische Interpretation der Landschaft des Oderbruchs wichtige Details der Entwicklung in diesem Raum vernachlässigt; allerdings eventuell jene Details, die für die Entwicklung des Flußlaufes entscheidend sind. HANNEMANN (1970) zeigt über die Auswertung von Bohrprofilen, daß es kein lokales Becken unter dem Oderbruch gibt. Rezent aktive Störungen mit geringen Versatzbeträgen von einigen Metern am Ende der letzten Eiszeit würden in dem groben Raster der Bohrprofile nicht sichtbar werden. Die klare Abhängigkeit der Struktur des Flußnetzes von neotektonischen Strukturen zeigt, daß jüngere tektonische Bewegungen ihre Spuren auch in der heutigen Landschaft hinterlassen. Wie diese Strukturen an der Oberfläche ausgeprägt sind (z.B. Mikrokluffnetze mit guter Wasserwegsamkeit oder echte Bewegungsfugen) ist derzeit kaum erforscht. Weiterhin weist die Übereinstimmung der Deichbrüche mit den Photolineationen und Störungslinien darauf hin, daß diese tektonischen Strukturen in Extremsituationen die Schwächestellen in einer Flußlandschaft darstellen. Notwendig ist daher eine Vorgehensweise im Management/Nutzung der Flußauen, die den naturgegebenen und vom Menschen letztlich nicht beeinflussbaren Größen Rechnung trägt. Die derzeit diskutierte Frage der Schaffung neuer Retentionsflächen sollte sich daher auf jene Regionen konzentrieren, wo Schwachstellen im Untergrund der Deiche tektonisch vorgezeichnet sind (s. Abb. 5).

Literatur

- BROSE, F. (1994): Das untere Odertal: Talentwicklung, Nutzung und Wasserbau. In: J. H. Schroeder (Ed.), *Geologie von Berlin und Brandenburg* (S. 152-157).- Geowissenschaftler in Berlin und Brandenburg e.V., Berlin.
- BÜLOW, C. von (1934): Zum Problem der Eberswalder Pforte.- *Jb. Preuß.Geol. LA.* 55, S. 29-43, Berlin.
- CEPEK, A. G. (1973): *Geologische Karte der DDR, Karte der quar- tären Bildungen.- Zentrales Geologisches Institut Berlin.*
- FRISCHBUTTER, A. & G. SCHWAB (1995): *Karte der rezenten vertikalen Krustenbewegungen in der Umrahmung der Ostsee Depres- sion. Ein Beitrag zu IGCP-Projekt 346 „Neogeodynamica Baltica“.- Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge 2 (2), S. 59-67, Kleinmachnow.*
- HANNEMANN, M. (1970): *Grundzüge der Reliefentwicklung und der Entstehung von Großformen in Jungmoränengebieten Branden- burgs.- Petermanns Geographische Mitteilungen 2, S. 103-116, Gotha.*
- IHDE, J., STEINBERG, J., ELLENBERG, J. & E. BANKWITZ (1987): *On recent vertical crustal movements derived from relevelings wi- thin the territory of the G.D.R.- Gerlands Beitr. Geophysik, S. 206-217, Leipzig.*
- JOHNSTON, P., WU, P. & K. LAMBECK (1998): *Dependence of hori- zontal stress magnitude on load dimension in glacial rebound models.- Geophys. J. Int. 132, S. 41-60*
- KOCKEL et al. (1995): *Geotektonischer Atlas NW-Deutschland, Hannover.*
- KRULL, P. & D. SCHMIDT (Hrsg. 1990): *Karte der Fotolineationen kosmischer Aufnahme. Geologische Karte der Deutschen De- mokratischen Republik.- Zentrales Geologisches Institut Berlin.*
- KRULL, P., LANGER, M., TREMBICH, G. & T. WEGNER (1985): *Methodi- sche Beiträge zur Interpretation von Fernerkundungsdaten im Nord- teil der DDR.- Z. angew. Geologie 31, 12, S. 295-300, Berlin.*
- LIEDTKE, H. (1956/57): *Beiträge zur geomorphologischen Entwick- lung des Thorn-Eberwalder Urstromtales zwischen Oder und Ha- vel.- Wissensch. Zeitschr. der Humboldt-Universität Berlin, S. 3-49.*
- LIEDTKE, H. (1981): *Die nordischen Vereisungen in Mitteleuropa.- Forschungen zur Deutschen Landeskunde, Trier.*
- LUDWIG, A. O. & G. SCHWAB (1995): *Neogeodynamica Baltica - ein internationales Kartenprojekt (IGCP 346). Deutsche Beiträge zur Charakterisierung der vertikalen Bewegungen seit Beginn des Rupelian (Unteroligozän) bzw. seit dem Ende der Holstein Zeit.- Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge 2 (2), S. 47- 57, Kleinmachnow.*
- SHECK, M. (1997): *Dreidimensionale Strukturmodellierung des Nordostdeutschen Beckens unter Einbeziehung von Krustenmo- dellern.- Diss., FU Berlin, Fachbereich Geowissenschaften.*
- SCHIRRMEISTER, L. (1997): *Sedimentstrukturen und Deformationen in Eisstauseeablagerungen NE-Brandenburgs und ihre fazielle Deutung.- In: B. NITZ & A. NAB (Hrsg.): Beiträge zu ausge- wählten Fragen des Quartärs in Ost- und Mitteleuropa.- Berliner Geographische Arbeiten, Humboldt-Universität Berlin.*
- SOLGER, F. (1930): *Die Entstehung des Oderbruches.- In: P. F. MEN- GEL (Hrsg.): Das Oderbruch. Verlagsgesellschaft Müller, Ebers- walde.*
- STACKEBRANDT, W., EHMKE, G. & V. MANHENKE (1997): *Atlas zur Geologie von Brandenburg, 1 : 1 000 000, 80 S.- Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg, Kleinmachnow.*
- WOLDSTEDT, P. (1931): *Über Randlagen der letzten Vereisung in Ostdeutschland und Polen und über die Herausbildung des Net- ze-Warthe Urstromtales.- Jb. Preuß.Geol. LA. Berlin 52, S. 59- 67, Berlin.*
- ZIEGLER, P. A. (1982): *Geological Atlas of Western and Central Europe.- Shell Internationale Petroleum Maatschappij B.V., El- sevier, Amsterdam.*

Anschrift des Autors:

Dr. Frank Sirocko
 GeoForschungsZentrum Potsdam
 Abteilung Sedimente und Beckenbildung
 Telegrafenberg
 14473 Potsdam

LANDESAMT

Ergebnisse des Teilprojektes 6 zur Grundwassergüteentwicklung in der Lausitz

RALPH HÄNEL & VOLKER MANHENKE

Innerhalb eines wissenschaftlich-technischen Gemeinschaftsvorhabens mehrerer geologischer Landesämter unter Leitung der „Geologischen Gemeinschaftsaufgaben“ beim Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung mit dem Thema „Grundwassergüteentwicklung in den Braunkohlengebieten der neuen Länder“ wurden im Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg drei Teilprojekte (TP) bearbeitet und von 1996 - 1998 abgeschlossen:

TP 3: Erfassung der verfügbaren grundwassergütebezogenen Grunddaten und des bisherigen Kenntnisstandes für das Lausitzer Braunkohlenrevier,

TP 6: Typisierung natürlicher und bergbaubedingter Gegebenheiten zur Erfassung und Festlegung weniger, aber sensibler Daten zur Kontrolle der Wassergüte für das Lausitzer Braunkohlenrevier,

TP 8: Studie zur Prozeßanalyse der Stoffumwandlung und des Stofftransports mittels Pilotsäulenanlage.

Das TP 8 wurde im wesentlichen vom Dresdener Grundwasserforschungszentrum e. V. (NITSCHKE u. a. 1996) erarbeitet. Hier wurden nach der Analyse bisheriger laborativer Untersuchungen insbesondere mit Batch-Tests und Bodensäulenfiltertests die Möglichkeiten einer 2-dimensionalen Säulenversuchsanlage zur Simulierung von Stofftransport und Prozeßanalyse geprüft und wissenschaftlich-technische Untersuchungen zur Realisierbarkeit einer solchen Anlage, ihres Kostenumfanges und der zu erwartenden Ergebnisse für die Vorhersage der Grundwassergüteentwicklung vorgelegt.

Innerhalb des TP 3 entstand die Datenbank „Grundwassergüte“ für das Niederlausitzer Braunkohlenrevier. Für die gleichzeitige Bearbeitung der Datenkompilation im Raum Halle, im Weißelsterbecken und im Niederlausitzer Braunkohlenrevier wurde ein gemeinsamer Ergebnisbericht vorgelegt (THOMAS u. a.).

Innerhalb des TP 6 wurden die wesentlichen regionalen Ergebnisse für den brandenburgischen Teil des Niederlausitzer Braunkohlenreviers erarbeitet und im Ergebnisbericht vorgelegt (WURL u. a. 1998).

Als Testgebiete wurden die beiden großen Tagebaufelder **Schlabendorf/Seese (T 4 a)** und **Greifenhain/Gräbendorf (T 4 b)** ausgewählt, bei denen der Abbau nunmehr eingestellt worden ist und deren Untersuchung repräsentative und übertragbare Ergebnisse erwarten ließ. Der erfaßte Kenntnisstand ist gegliedert nach geologisch-lagerstättenkundlichen und hydrogeologischen Gesichtspunkten. Als Randbedingungen werden dabei besonders die gegenwärtigen Vorstellungen zu den Flutungskonzepten und der Grobeinschätzung der Restseewasserbeschaffenheit berücksichtigt.

Große Sorgfalt wird den Arbeitsmethoden auf der Basis der vorhandenen Daten gewidmet. Dies betrifft sowohl die Kartierung als auch die Probenahme und Analyseverfahren. Dabei sind besonders zu erwähnen die Erarbeitung von 25 Karten im Maßstab 1 : 50 000 für die maximalen Absenkungen und den vorbergbaulichen Grundwasserzustand, die Bodengeologie und Entwässerung der Kippen sowie die Kompilation der Kippenoberflächen-Expositionszeiten als Basis für die Pyrit- und Markasitverwitterung, die zwischen wenigen Minuten und mehreren Jahren liegen.

Von 300 Grundwassermessstellen im Teilgebiet Schlabendorf/Seese ließen nur 17 % eine Beprobung zu. Auf den beiden Testgebieten wurde das Geopotential anhand von Neubeprobungen von Sedimenten aus vier Bohrungen von 55 - 86 m Tiefe und 13 Schürfen bis zu 2 m Tiefe im gewachsenen Gebirge und auf den Kippen bestimmt. Darüber hinaus konnten die in den über 80 Erkundungsberichten der Braunkohlenfelder dokumentierten Informationen mit ausgewertet werden.

Ein wesentlicher Beitrag ist die Definition der drei korrespondierenden Methoden für die Typisierung, die gemeinsam in der Projektgruppe „Typisierung“ erarbeitet wurden und hier eine entsprechende Darstellung finden.

An vorhandenen und neu errichteten Grundwassermessstellen wurden in sieben Beprobungskampagnen (Testfläche 4 a vier Beprobungen, Testfläche 4b drei Beprobungen) die aktuellen hydrochemischen Verhältnisse ermittelt. Sowohl die Grundwässer in den Kippen und Halden, als auch die zeitweise entwässerten Grundwasserleiter im Umfeld der Tagebaue weisen eine Erhöhung spezifisch bergbaubedingter Inhaltsstoffe (v. a. Fe, Ca, SO₄) auf. Der pH-Wert ist mit einem Mittelwert von 6 nur leicht erniedrigt, d. h. die Versauerung ist noch nicht eingetreten. Die in den Kippengrundwässern gelösten Eisenionen (es wurde maximal 1 028 mg/l Fe gemessen) liegen überwiegend in der zweiwertigen Oxidationsstufe vor, so daß mit einer weiteren Sauerstoffzufuhr auch eine Säurefreisetzung bewirkt wird, deren Umfang der bereits erfolgten Protonenfreisetzung entspricht. Diese Oxidation des Eisens zu Eisenhydroxid erfolgt bei der Belüftung von Kippengrundwässern in Folge des Zuflutens in einen Restsee. Sie wurde darüber hinaus an der Grundwasseroberfläche in den Kippen beobachtet. Durch die geplante bzw. bereits begonnene Fremdfutung der Restseen mit Oberflächenwässern wird das weitere Zufluten der Kippengrundwässer in die Restseen vermindert bzw. unterbunden. Mit dem nachbergbaulichen Wiederanstieg des Grundwassers bzw. der Flutung der Restseen stellen sich wieder reduzierende Bedingungen in den Kippengrundwasserleitern ein. Die sich hierbei einstellenden Redoxbedingungen entsprechen in etwa denen in vergleichbaren bergbaulich unbeeinflussten Grundwasserleitern.

Das Neutralisationspotential als Differenz zwischen säurepuffernden und säurebildenden Stoffen beschreibt den Umfang der maximal bei einer Belüftung der Grundwässer freisetzbaren Protonen. Für die Kippengrundwässer der Testfläche 4 a wurde im Durchschnitt ein Neutralisationspotential von -6 mmol(eq)/l festgestellt, d. h. bei einer Belüftung die-

ser Grundwässer mit dem Einströmen in die Restseen ist eine starke Versauerung zu erwarten. Demgegenüber treten positive Neutralisationspotentiale in den Grundwässern der gewachsenen Grundwasserleiter auf. In Grundwässern von kalkhaltigen oder mit Aschen konditionierten Kippensedimenten (v. a. im Tagebau Greifenhain) wurden die höchsten Neutralisationspotentiale ($NP > 10 \text{ mmol(eq)/l}$) berechnet.

Langfristig ist mit einem Abbau des Versauerungspotentials zu rechnen, so daß der Sulfatgehalt für die Phase der Langzeitabströmung als sensibler, die Nutzung der Grundwässer beeinflussender Parameter angesehen werden muß. Die Kippengrundwässer überschreiten den in der Trinkwasser-VO festgesetzten Grenzwert im Mittel um das 5-6fache.

Die Untersuchung der Grundwässer auf den Testflächen 4 a und 4 b hat gezeigt, daß die Freisetzung von Eisen, Aluminium, Sulfat und damit die Erhöhung der Azidität nicht nur im Kippenkörper, sondern auch im gewachsenen Bereich und zwar im Hangend- und Liegendgrundwasserleiter stattgefunden hat. Die auf den Testflächen eingerichteten Beobachtungsnetze erfassen deshalb die Kippengrundwässer sowie die Hangend- und Liegendgrundwasserleiter und sollten auch nach Projektende für eine Langzeitbeobachtung weiterhin genutzt werden. Die Meßstellen müssen zuvor einer umfassenden Überprüfung ihrer Funktionstüchtigkeit unterzogen und gegebenenfalls repariert oder ersetzt werden und können dann die Grundlage für ein einzurichtendes Grundwasser-Sondermeßnetz bilden. Dieses sollte fortlaufend mindestens einmal im Jahr beprobt werden. Mit dem beginnenden Abstrom der Grundwässer aus den Tagebauen (im Tagebau Greifenhain ab ca. 2013) muß eine Erweiterung des Sondermeßnetzes in den betroffenen gewachsenen Grundwasserleitern erfolgen.

Anhand der geochemischen Analysen und der Schichtenverzeichnisse aus den Erkundungsbohrungen der Vorerkundung wurden Massebilanzen der umgelagerten Stoffmenge und des belüfteten Gebirgsvolumens erstellt. Stellt man dem berechneten Pyritgehalt den Kalkgehalt gegenüber, der zur Neutralisationsreaktion notwendig ist, so ergibt sich für den Tagebau Schlabendorf-S ein Überschuß an Pyrit in Höhe von 3,6 Mio t; für den Tagebau Greifenhain, der einen hohen Anteil quartärer Sedimente (64 %) aufweist, wurde ein Kalküberschuß von 2,4 Mio t ermittelt.

Für die Testflächen 4 a (Raum Schlabendorf-Seese) wurden Karten der Substrate im Maßstab 1 : 10 000 erstellt und eine bodenkundliche Kartierung im Maßstab 1 : 50 000 durchgeführt. Diese Karten können als wichtige Eingangsgrößen für eine Modellrechnung zur Abschätzung der Grundwasserneubildungsrate auf den Kippen und Halden verwendet werden. Somit ließe sich eine der Randbedingungen für die Modellierung des Wiederanstiegs des Grundwassers präzisieren und besonders für langjährige Prognosezeiträume eine größere Aussagesicherheit erzielen.

Die für die montane Beeinflussung sensiblen Parameter können folgendermaßen benannt werden. Für das Grundwasser sind die Leitfähigkeit ($L_f - 25$), der Eh-Wert, der pH-Wert, das Neutralisationspotential und die Gehalte an Fe, Al, Ca, SO_4 , HCO_3 , TIC (total inorganic carbon) und DOC (dissol-

ved organic carbon) aussagekräftig. Im Sediment lassen der Kalkgehalt, der Pyritgehalt, der pH-Wert, der C_{org} -Gehalt, der Tongehalt, die effektive Kationenaustauschkapazität und das Versauerungspotential und das Kalk-Pyrit-Verhältnis eine bergbauliche Beeinflussung erkennen.

Die Entwicklung der Grundwässer bei Vermischung und Änderung der Milieubedingungen wurde thermodynamisch modelliert und Aussagen zur Beschaffenheitsentwicklung abgeleitet. Die Berechnungen verdeutlichen, daß selbst ein durch Kontakt mit einem kalkhaltigen Aquifer im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht stehendes infiltriertes Kippengrundwasser nach erneuter Belüftung wieder sauer reagieren kann, da durch die Ausfällung von Eisenhydroxid wieder H^+ -Ionen freigesetzt werden.

Auf Grundlage von Bahnlinienberechnungen lassen sich die Bereiche einer späteren maximal möglichen bergbaulichen Beeinflussung abgrenzen. Diese wurden von der LMBV entsprechend den derzeit aktuellen Flutungsszenarien mit ihrem Großraummodell für die Phase instationärer Verhältnisse berechnet. Es wurden Bereiche ausgewiesen, für die eine bergbaubedingte Beeinflussung des Tagebaumfeldes 30 a nach Erreichen der Zielwasserstände in den Restseen zu erwarten ist. Am nördlichen Rand des Tagebaus Greifenhain beträgt die bis dahin mögliche maximale Ausbreitung kippenbeeinflusster Grundwässer rd. 2,5 km. Die für die Testflächen von der LMBV berechneten Bahnlinien stellen eine wesentliche Grundlage für die Prognose der instationären Fließverhältnisse dar. Nach dem Übergang zu stationären Fließverhältnissen können Aussagen anhand der montanhydrogeologischen Durchflußbereiche auf Grundlage der nachbergbaulichen Grundwassergleichen abgeleitet werden. Hierzu wird das Bearbeitungsgebiet in unterschiedliche Reaktionsräume gegliedert. Etwa 15 % der Fläche des brandenburgischen Spree-Einzugsgebietes der Niederlausitz werden nach dem z. Z. bis 2030 prognostizierten Braunkohlenabbau Kippen und Restseen einnehmen. Der ohne bergbauliche Beeinflussung bleibende Anteil des Gebietes beträgt etwas mehr als 50 %, etwa 35 % können langfristig durch abströmende Kippengrundwässer beeinflusst werden, davon etwa ein Viertel auch durch den Abfluß aus den entstehenden Restseen.

Die Abstandsgeschwindigkeit für das abströmende Grundwasser in den MHDB beider Testflächen liegt bei 20 - 60 m pro a. Damit wird der maßgebende Vorfluter (Südumluter der Spree) von der Verschmutzungsfahne nach 100 - 400 a erreicht. Das bergbaubeeinflusste Grundwasser wird aber mit Neubildungsgrundwasser so vermischt, daß die maximalen Sulfatgehalte unter 400 mg/l liegen. Somit werden die Einleitungsbedingungen in das Oberflächenwasser von 800 mg/l Sulfat in jedem Fall unterschritten. Es wurden erste Berechnungen zur prognostischen Sulfatbelastung des Wasserwerkes Eichow im Abstrom der Tagebaufelder Greifenhain/Gräbendorf und später Welzow-Süd vorgelegt, die etwa im Trinkwassergrenzbereich von 240 mg/l liegen dürfte. Die bergbaubeeinflussten Grundwässer werden das Wasserwerk allerdings erst nach 200 Jahren erreichen.

Literatur

- KATZUR, J. & M. GAST (1998): Auswirkungen der Bodendecke und der Bodennutzung von Kippen auf die Grundwassergüte. - Vortragsband 4. GBL-Kolloquium vom 26.-28. November 1997 in Cottbus, NLFb Hannover.
- NITSCHKE, C. & G. ECKHARDT (1998): Ergebnisse der Studie zur Prozeßanalyse der Stoffumwandlung und des Stofftransports mittels Pilotsäulenanlage. - Vortragsband 4. GBL-Kolloquium vom 26.-28. November 1997 in Cottbus, NLFb Hannover.
- NITSCHKE, C., BÖRKE, P., NEUMANN, V. & G. ECKHARDT (1996): Studie zur Prozeßanalyse der Stoffumwandlung und des Stofftransports mittels Pilotsäulenanlage. - Unveröff., GBL-Gemeinschaftsvorhaben, 95 S., 4 Anl., Dresden/Kleinmachnow.
- SCHIRRMEISTER, W., MANHENKE, V., MÜNCH, U. & J. WURL (1998): Prognose der Grundwassergüteentwicklung im bergbaubeeinflußten Spree-Einzugsgebiet Brandenburgs. - Vortragsband 4. GBL-Kolloquium vom 26.-28. November 1997 in Cottbus, NLFb Hannover.
- THOMAS, L., AHRENS, P. & T. DUTELOFF (1997): Ergebnisse der Datenkompilation im Rahmen des GBL-Gemeinschaftsvorhabens. - Vortragsband 3. GBL-Kolloquium vom 19.-21. Februar 1997 in Halle/Saale, NLFb Hannover.
- THOMAS, L., AHRENS, P., DUTELOFF, T., HÄNEL, M. et al. (1997): Abschlußbericht Datenkompilation. - Unveröff., GBL-Gemeinschaftsvorhaben, 89 S., umfangr. Anlagen, Kleinmachnow/Hannover.
- WURL, J., MÜNCH, U., SCHIRRMEISTER, W. & L. THOMAS (1998): Charakterisierung der bergbaubeeinflußten Reaktionsräume und die Ableitung des Versauerungspotentials in den Testgebieten Schlabendorf/Seese und Greifenhain/Gräbendorf. - Vortragsband 4. GBL-Kolloquium vom 26.-28. November 1997 in Cottbus, NLFb Hannover.
- WURL, J., MÜNCH, U., SCHIRRMEISTER, W., THOMAS, L. & V. MANHENKE (1998): Abschlußbericht zur Typisierung natürlicher und bergbaubedingter Gegebenheiten zur Erfassung und Festlegung weniger sensibler Daten zur Kontrolle der Wassergüte für das Lausitzer Braunkohlenrevier. - Unveröff., GBL-Gemeinschaftsvorhaben, 192 S., umfangr. Anlagen, Kleinmachnow/Hannover.

Mitteilung aus dem Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg No. 118

Anschriften der Autoren:

Prof. Dr. Ralph Hänel
Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung
Stilleweg 2
30655 Hannover

Dr. Volker Manhenke
Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg
Stahnsdorfer Damm 77
14532 Kleinmachnow

TAGUNGSBERICHT

1. International Odra Research Conference (IORC)

HANS ULRICH THIEKE

Vom 16. bis 19. Juni 1998 fand in Kraków (Polen) die "Erste Internationale Konferenz zur Erforschung der Oder" statt. Sie stand unter der Schirmherrschaft des Vorsitzenden des Staatlichen Komitees für Wissenschaftliche Forschung und des stellvertretenden Ministers für Umweltschutz, Naturressourcen und Forstwirtschaft der Republik Polen.

Das Anliegen der Tagung war eine erste Zusammenschau der wichtigsten Ergebnisse der am "Internationalen Oder Projekt" (IOP) seit Anfang 1997 beteiligten Arbeitsgruppen aus Polen, Tschechien und Deutschland. Die bisher vom BMBF geförderte interdisziplinäre Zusammenarbeit von polnischen und deutschen Forschungseinrichtungen und Universitäten war auf die Bestandsaufnahme des Ökosystems Oder und seines Einzugsgebietes gerichtet, analog dem Verbundprojekt "Elbe 2000".

Ziel des IOP ist es, aus den ermittelten Fakten z. B. über den Schwermetallgehalt von Wasser, Schwebstoffen, Flußsediment, Auenboden und des geologischen Substrats, Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässergüte abzuleiten, die im Rahmen der Internationalen Kommission zum Schutz der Oder (IKSO) auch durch EU-Mittel gefördert werden sollen. Zusätzliche Brisanz und Dringlichkeit zum gemeinsamen Handeln erfuhr dieser weitgespannte Themenkreis durch die Hochwasserkatastrophe vom Sommer 1997.

Entsprechend breit waren die einzelnen Themengruppen-Sitzungen/Vorträge der Tagung angelegt:

- Session 1: Plenarvorträge (2)
- Session 2: Hydrologische, biologische und geologische Situation im Einzugsgebiet der Oder (6)
- Session 3: Akkumulation und Eigenschaften der Kontaminanten (10)
- Session 4: Hochwasser-Folgen (10)
- Session 5: Wassernutzung (6)
- Session 6: Ökologische und ökotoxische Aspekte (4)
- Session 7: Computergestützte Monitoring- und Vorwarnsysteme (4)

Etwa 100 Teilnehmer hatten sich in der Berg- und Hüttenakademie Krakóws zur Darlegung und Diskussion der Ergebnisse der ersten Bestandsaufnahme eingefunden, darunter drei Gäste aus dem Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg (LGRB), die aktiv am Tagungsgehehen mitwirkten:

Herr Dr. Brose mit einem Vortrag über die jüngste geologische Entwicklung des unteren Odertales, Herr Dipl.-Geol. Hotzan mit einer hydrogeologischen Übersichtsdarstellung des brandenburgischen Oderabschnittes und Herr Dr. Thieke

mit der Diskussionsleitung von Session 2 und der Präsentation von zwei Postern (Parsiegla, K. & H. U. Thieke) zu geochemischen und sedimentologischen Ergebnissen aus quartären Lithotypen im Einzugsgebiet von Havel und Spree sowie holozäner und rezenter Auensedimente der Oder.

Die Organisation der Tagung war perfekt und das stilvolle kulturelle Rahmenprogramm vor historischer Kulisse beeindruckend. Besonderen Anteil am Gelingen der Tagung hatten Frau Prof. Helios-Rybicka (Universität Kraków) und Herr Prof. Knöchel (Universität Hamburg) mit ihren umsichtigen Helfern, denen unser herzlicher Dank gilt.

Das Ziel der Tagung, den erreichten Kenntnisstand und weiteren Handlungsbedarf im Ökosystem Oder aufzuzeigen, dürfte als erfüllt angesehen werden. Vor diesem Hintergrund fand die von den LGRB-Vertretern formulierte Notwendigkeit von vertiefenden quartär- und hydrogeologischen Arbeiten ungeteilte Beachtung, so daß berechtigte Hoffnung auf Intensivierung der Zusammenarbeit des Geologischen Dienstes Polens und Brandenburgs im Odereinzugsgebiet besteht.

Mitteilung aus dem Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg No. 119

Anschrift des Autors:

Dr. Hans Ulrich Thieke
Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg
Stahnsdorfer Damm 77
14532 Kleinmachnow

	INHALT (Fortsetzung)	CONTENTS (continuation)	Seite
THOMAS HÖDING, FRANK LUDWIG & FRITZ BROSE	Verfügbarkeit von natürlichen Deichbaumaterialien im Oderraum	Availability of Natural Materials for the Construction of Dikes in the Oder Region	65
FRANK SIROCKO	Die Entwicklung der nordostdeutschen Ströme unter dem Einfluß jüngster tektonischer Bewegungen	The Development of the Northeast German Rivers under the Influence of Youngest Tectonic Movements	75
	Aus dem Landesamt	From the Brandenburg Office	
HERMSDORF, N.	Geologische Übersichtskarte des Landes Brandenburg 1 : 300 000	Geological Map of Brandenburg 1 : 300 000	14
MANHENKE, V. & M. PAWLITZKY	Aktualisierte Zweitaufgabe der KOR 300	Updated Second Edition of the KOR 300	50
NESTLER, P.	Zum Gedenken an Horst Niederstraßer	In Memory of Horst Niederstraßer	58
NESTLER, P.	Umweltschonende Sanierungs- verfahren an setzungsgefährdeten Böschungen des Tagebaurest- loches Katja-See	Environmentally Protective Restoration Methods on the Sub- sidence-Endangered Slopes of the Opencast Mining Residual Lake, Lake Katja	64
HÄNEL, R. & V. MANHENKE	Ergebnisse des Teilprojektes 6 zur Grundwassergüteentwicklung in der Lausitz	The Results of the Partial Project 6 for the Ground Water Quality De- velopment of the Lausitz	81
	Tagungen	Meetings	
THIEKE, H. U.	1. International Odra Research conference (IORC)	1. International Odra Research conference (IORC)	84

Die Zeitschrift „Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge“ des Landesamtes für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg wird seit 1994 herausgegeben

Bisher sind erschienen:

1994, Heft 1, 128 S., 51 Abb., 14 Tab.

1995, Heft 1, 144 S., 83 Abb., 15 Tab.

1995, Heft 2, 96 S., 37 Abb., 5 Tab.

1996, Heft 1, 160 S., 100 Abb., 9 Tab.

1997, Heft 1, 96 S., 57 Abb., 2 Tab.

1997, Heft 2, 96 S., 61 Abb., 14 Tab.

1998, Heft 1, 84 S., 71 Abb., 4 Tab.

Zu beziehen über das Landesamt und seine Außenstellen

Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg, Stahnsdorfer Damm 77, 14532 Kleinmachnow,
Tel. 033203/36600, Fax 033203/36702

Außenstelle Frankfurt, Schulstraße 16, 15230 Frankfurt/Oder, Tel. 0335/6802738, Fax 0335/6802784

Außenstelle Cottbus, Vom-Stein-Str. 30a, 03050 Cottbus, Tel. 0355/4772310, Fax 0355/4772355

Autorenhinweise

Die Zeitschrift „Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge“ widmet sich geologischen und lagerstättenkundlichen Themen von Brandenburg und Berlin sowie dem neuesten Forschungsstand in den geowissenschaftlichen Disziplinen. Die eingereichten Beiträge sollen diesem Profil entsprechen. Es werden Originalarbeiten und wissenschaftliche Informationen veröffentlicht, die noch nicht andernorts publiziert wurden.

Manuskript

Der Umfang des Manuskripts sollte 15 Seiten (A 4, zweizeilig) nicht überschreiten. Wissenschaftliche Informationen sind einschließlich der Abbildungen auf maximal fünf Seiten zu bemessen. Jedem Beitrag ist eine kurze deutsche und englische Zusammenfassung beizufügen. Es wird erwartet, daß der Text auf Diskette eingereicht wird. Außerdem wird um ein Originalmanuskript gebeten, in dem alle Sonderzeichen sowie Buchstaben aus anderen Sprachen genau angegeben sind.

Abbildungen

Je Beitrag können bis zu 7 Abbildungen veröffentlicht werden. Zu beachten ist, daß Abbildungsvorlagen größer als die beabsichtigte Druckgröße eingereicht werden. Bei Fotos ist der Maßstab als verbaler Ausdruck anzugeben (keine Maßstabsleiste). Zeichnungen entsprechend DIN. Jede Abbildung ist mit Autorennamen und Nummer zu versehen, die Abbildungstexte sind auf einem gesonderten Blatt beizugeben.

Zitierweise

Im Text:

WUNDERLICH (1974) bzw. (WUNDERLICH 1974) oder

PILGER & STADLER (1971) sowie NÖLDEKE, SCHWAB et al. (1977)

Im Literaturverzeichnis:

BUBNOFF, S. v. (1953): Über die Smäländer „Erdnaht“. - Geol. Rdsch. **41**, S. 78–90, Stuttgart

FAUTH, H., HINDEL, R., SIEWERS, U. & J. ZINNER (1985): Geochemischer Atlas Bundesrepublik Deutschland 1 : 200 000. - 79 S., Hannover (Schweizerbart)

KRONBERG, P. (1976): Photogeologie, eine Einführung in die Grundlagen und Methoden der geologischen Auswertung von Luftbildern. - 268 S., Stuttgart (Enke)

