LANDESAMT FÜR BERGBAU, GEOLOGIE UND ROHSTOFFE BRANDENBURG



1Brandenburgische2007Geowissenschaftliche Beiträge



Vorwort	profess	
	pretace	3
Aufbau von Sondermessnetzen zur Überwachung der geogenen Grundwasserversalzung in Brandenburg	Construction of special monitoring networks for controlling the geogenic groundwater salinization in Brandenburg	5-14
Vergleich der quartärstratigra- phischen Gliederungen von Nordost- Deutschland und Polen	Comparision of Quaternary stratigraphy used in Northeast- Germany and Poland	15-24
Die Pollendatenbank (POLLDAB) des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR)	The Pollen data base (POLLDAB) of the State Office for Mining, Geology and Natural Resources Brandenburg	25-29
Synopsis jungquartärer Landschaftsgeschichte im Gebiet des Rheinsberger Rhin	Synopsis for the Upper Quaternary history of the region Rheinsberg Rhin	31-36
	Überwachung der geogenen Grundwasserversalzung in Brandenburg Vergleich der quartärstratigra- ohischen Gliederungen von Nordost- Deutschland und Polen Die Pollendatenbank (POLLDAB) des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR) Synopsis jungquartärer Landschaftsgeschichte im Gebiet des Rheinsberger Rhin	Überwachung der geogenen Grundwasserversalzung in Brandenburgnetworks for controlling the geogenic groundwater salinization in BrandenburgVergleich der quartärstratigra- ohischen Gliederungen von Nordost- Deutschland und PolenComparision of Quaternary stratigraphy used in Northeast- Germany and PolandDie Pollendatenbank (POLLDAB) des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR)The Pollen data base (POLLDAB) of the State Office for Mining, Geology and Natural Resources BrandenburgSynopsis jungquartärer Landschaftsgeschichte im Gebiet des Rheinsberger RhinSynopsis for the Upper Quaternary history of the region Rheinsberg Rhin

FORTSETZUNG S. 98

Titelbild

"Schollensteine" in der Brautrummel bei Grubo (Fläming); karbonatzementierte Schmelzwassersande und -kiese der Saale-Kaltzeit (vgl. Beitrag S. 30).

Herausgeber: © Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, Präsident: Dr.-Ing. Klaus Freytag

Schriftleitung: Dr. Werner Stackebrandt

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, Dipl.-Geol. Lothar Lippstreu

Redaktion: Dr. Jaqueline Strahl, Dipl.-Geophysn. Anneliese Andreae Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, Bereich Geologie Stahnsdorfer Damm 77, 14532 Kleinmachnow Tel. (033203) 36600, Fax (033203) 36702, e-mail: lbgr@lbgr.brandenburg.de, http://www.lbgr.brandenburg.de

Hinweise zur Abfassung der Manuskripte sind auf der 3. Umschlagseite des Heftes angegeben. Für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren verantwortlich.

Layout und Satz: A. Andreae

Erscheinungsweise: Die Schriftenreihe erscheint jährlich mit 1 bis 2 Heften. Gebühr für dieses Heft: 12,00 €

Druck: Druckerei Grabow, Teltow

Printed in Germany ISSN 0947-1995 Beiträge zur Quartärgeologie Brandenburgs und benachbarter Regionen, zu morphologischen und landschaftsgenetischen Untersuchungen sowie zur stofflichen Charakteristik von Grund- und Oberflächengewässern

Vorwort

Mit dem aktuellen Heft der Brandenburgischen Geowissenschaftlichen Beiträge präsentieren wir Ihnen eine Reihe von neuen Untersuchungsergebnissen zur Geologie, Geomorphologie und Landschaftsgenese in Brandenburg und benachbarten Regionen sowie zur stofflichen Charakteristik von Grund- und Oberflächengewässern. Obwohl sich unsere Fachbeiträge in erster Linie um Brandenburg ranken, ist uns die Korrelation der geologischen Ergebnisse mit denen aus dem regionalen Umfeld sehr wichtig. Gerade für die grenzüberschreitende Kartierung sind abgestimmte stratigraphische Einstufungen und Kartierungsmethoden unverzichtbar. Ein instruktives Beispiel hierfür finden Sie mit dem Vergleich der quartärstratigraphischen Gliederungen NE-Deutschlands und Polens (Beitrag Börner) in diesem Heft. Ein anderes ist die gerade mit zweisprachigen Erläuterungen, nun auch gedruckt, erschienene Geologische Karte 1:50 000, Blatt Frankfurt (Oder)/Slubice, das gemeinsam von polnischen und brandenburgischen Geologen erarbeitet wurde. Dieses Anliegen, den Ausbau der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit zu fördern, entspricht auch der von den geologischen Gesellschaften Polens (PTG) und Deutschlands (DGG) im September 2007 gemeinsam mit und in der Universität Szczecin/Stettin abgehaltenen Tagung GeoPomerania 2007 - Geology crossbordering the Western and Eastern European Platform.

Der zweite Themenschwerpunkt widmet sich dem Wasser. Nach seiner Wichtigkeit ist auch im seenreichen Brandenburg die Bedeutung des Wassers besonders hoch einzustufen. Ob Grund- oder Oberflächenwasser – es ist nicht nur ein schützenswertes Medium, sondern der wichtigste brandenburgische Rohstoff. Um es auch künftig in ausreichender Menge und Qualität nutzen zu können, bzw. auch zu schützen, sind belastbare Geodaten erforderlich, die die Bewertung seiner aktuellen und künftigen Beschaffenheit, seiner Genese und seiner möglichen Beeinflussung unter sich wandelnden Rahmenbedingungen wie Ressourcenverknappung und Klimawandel etc. ermöglichen.

Gestatten Sie noch einen Hinweis in eigener Sache. Altersbedingt scheidet Herr Dr. Hans Ulrich Thieke aus dem Redaktionsteam der BGB aus. Mit großer Sachkenntnis und hohem Engagement hat sich Dr. Thieke um diese brandenburgische Fachzeitschrift sehr verdient gemacht, wofür ihm auch an dieser Stelle sehr herzlich gedankt wird. Neu in das Redaktionsteam aufgenommen wurde Frau Dr. Jaqueline Strahl, den Lesern durch zahlreiche eigene Fachbeiträge bekannt, der wir auch für die Redaktionsarbeit ein erfolgreiches Wirken wünschen.

Ihr Werner Stackebrandt

Aufbau von Sondermessnetzen zur Überwachung der geogenen Grundwasserversalzung in Brandenburg

Construction of special monitoring networks for controlling the geogenic groundwater salinization in Brandenburg

STEPHAN HANNAPPEL, ANGELA HERMSDORF, STEFAN POHL, CHRISTEL RIETZ & REINHARD KOSECK

1. Einführung

Die natürliche Landschaft Brandenburgs ist hauptsächlich ein Ergebnis mehrmaliger Vereisungen im Quartär, verbunden mit Abtragungs-, Anlagerungs- bzw. Aufschüttungsprozessen. Mehr als 95 % des Brandenburger Territoriums werden von Lockergesteinsablagerungen des Quartärs bedeckt. Die unterlagernden tertiären Schichten weisen aufgrund differenzierter Ablagerungsbedingungen, insbesondere durch spätere pleistozäne oder halokinetische Prozesse, große Mächtigkeitsschwankungen auf. Zusammen stellen diese känozoischen Bildungen im Land Brandenburg das so genannte Süßwasserstockwerk dar. Darunter folgt das hauptsächlich aus meso- bis paläozoischen Ablagerungen bestehende Salzwasserstockwerk (HERMSDORF 2006). Der hydraulisch wirksam trennende Horizont zwischen dem süßwasserführenden nutzbaren Grundwasserbereich im Hangenden und den hoch mineralisierten Tiefenwässern im Liegenden ist der mitteloligozäne Rupelton des Tertiärs. Ist dieser Horizont durch nachfolgende Gletscheraktivitäten oder salinare Bewegungen erodiert bzw. ausgedünnt worden, haben die hoch konzentrierten tiefliegenden Salzwässer die Möglichkeit, in die süßwasserführenden Horizonte aufzusteigen (s. Abb. 1 und 2). Die südliche Verbreitungs- bzw. Transgressionsgrenze des Rupeltons im Land Brandenburg liegt etwa auf der Linie nördlich des Herzberg-Calau-Lausitzer Hauptabbruchs bis in den Raum Altdöbern-Peitz-Guben.



Abb. 1 Versalzung von Grundwasservorkommen aus der Tiefe (aus Hermsdorf 2006) Fig. 1

Salinization of groundwater from the depth (from Hermsdorf 2006)

Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge 1-2007



Abb. 2 Prinzipdarstellung der Entwicklung der Wasserbilanz im Land Brandenburg (aus HERMSDORF 2006)
Fig. 2 Principle schema of the development of water balance in the state of Brandenburg (HERMSDORF 2006)

Bedingt durch zu erwartende Veränderungen des Druckpotenzials in den Grundwasserleitern, u. a. durch Reduzierung der Grundwasserneubildung oder auch durch wasserbauliche Maßnahmen, ist nicht auszuschließen, dass es an der Grenzfläche vom Süß- zum Salzwasser im tieferen Untergrund zur Ausbildung weiterer Salzwasseraufstiegsbahnen kommt. Diese können bisher nicht betroffene Gebiete zukünftig gefährden.

Vor dem Hintergrund prognostizierter Klimaänderungen (GERSTENGABE et al. 2003) und den damit verbundenen Szenarien zur wahrscheinlichen Reduzierung der wasserhaushaltlich verfügbaren Niederschlagsmenge im Land Brandenburg (ca. 20 % im Vergleich der Jahre 2003 und 2050) resultiert so die Möglichkeit der verstärkten Intrusion von Salzwasser extrem hoher Konzentrationen (Gesamtsalzgehalt > 350 000 mg/l) in süßwasserführende Grundwasserleiter.

Dieses Szenario soll mit den jeweils im Aufbau befindlichen Sondermessnetzen zur "Geogene Grundwasserversalzung" des Landesumweltamtes (LUA) und des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe (LBGR), geprüft und somit zukünftig die regionale und vertikale Entwicklung möglicher Salzwasserintrusionen in die süßwasserführenden Grundwasserleiter überwacht werden. Es handelt sich dabei zum einen um das oberflächennahe, wasserwirtschaftlich orientierte Salinarmessnetz beim LUA mit der Beobachtung der oberflächennahen Grundwasserversalzung. Zum anderen wird das oberflächenferne, geogen orientierte Salinarmessnetz beim LBGR aufgebaut, welches die Grundwasserversalzung vor allem in tieferen quartären Schichten berücksichtigt.

2. Konzeptionelle Grundlagen des Grundwasser-Monitorings in Brandenburg

2.1 Überblicksweise und operative Überwachung nach Wasserrahmenrichtlinie

In den EU-Mitgliedstaaten trat im Dezember 2000 die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, EU 2000) zur Schaffung eines einheitlichen Ordnungsrahmens für Maßnahmen im Bereich der Wasserpolitik in Kraft. Seit 2006 gilt zudem die sogenannte "Tochterrichtlinie" (EU 2006) mit Bezug zur Wasserrahmenrichtlinie.

Die zentrale Zielstellung der WRRL und der Tochterrichtlinie liegt im Erreichen eines guten chemischen und mengenmäßigen Zustandes der Gewässer bis zum Jahr 2015. Zur Umsetzung dieser Zielstellung fordert die WRRL die Aufstellung konkreter Monitoringprogramme zur Überwachung des Grundwasserstandes und der Grundwasserbeschaffenheit. Das Monitoringsystem zur Grundwasserbeschaffenheit ist in eine überblicksweise und operative Überwachung klassifiziert. Der überblicksweisen Überwachung unterliegen alle Grundwasserkörper unabhängig von der Erreichung des guten chemischen Zustandes bis zum oben genannten Zeitpunkt. In die entsprechenden Überblicksmessnetze der Grundwasserkörper wurden im Zuge der Anpassung bestehender Grundwassermessnetze an die Erfordernisse der WRRL alle Grundwasserbeschaffenheitsmessstellen der informationsorientierten Landesmessnetze (Grund-, Nitrat- und Salzmessnetz) sowie in Einzelfällen weitere Messstellen aus Messnetzen Dritter (z. B. Messnetze von Wasserversorgungsunternehmen) integriert.

Messnetze zur operativen Überwachung wurden nur in jenen Grundwasserkörpern eingerichtet, die als gefährdet eingestuft sind. Die für dieses Monitoring ausgewählten Messpunkte entstammen aus diversen, bereits bestehenden Überwachungssystemen. Hierbei handelt es sich neben einer Auswahl von Messstellen der Landesmessnetze Grundwasserbeschaffenheit und Grundwasserstand überwiegend um Messstellen aus der nutzungs- und anlagenorientierten Grundwasserüberwachung im Einzugsgebiet von Wasserfassungen und Altlasten sowie der Bergbautätigkeit.

Die Konfiguration der WRRL-Grundwasserüberwachungsmessnetze fand in Brandenburg entsprechend zentraler Terminstellungen Ende 2006 ihren Abschluss, wobei von einer fachlich begründeten Anpassung der Messsnetze in den Folgejahren auszugehen ist. 2007 sind nunmehr sämtliche ausgewiesenen und der EU gemeldeten Messpunkte der ersten Beprobungskampagne zu unterziehen.

Ein Kriterium zur Kennzeichnung des guten chemischen Zustandes des Grundwassers nach WRRL ist der Ausschluss von Salzwasserintrusionen. Damit ist das seit 2003 in Brandenburg im Aufbau befindliche LUA-Sondermessnetz "oberflächennahe Grundwasserversalzung" in seiner fachlichen Notwendigkeit und Einbettung in das EU-WRRL-Monitoring bestätigt.

2.2 Überwachung der oberflächennahen Grundwasserversalzung (LUA)

Oberflächennahe Salzwasseraustritte sind seit dem ausgehenden Mittelalter in einigen Teilen Brandenburgs dokumentiert und z. T. auch wirtschaftlich genutzt worden. Etwa 100 natürliche Austrittsstellen von Salzwasser sind bekannt, die überwiegend durch Botaniker im 19. und 20. Jahrhundert kartiert wurden. Die natürlichen Salzwasseraustritte in Brandenburg konzentrieren sich primär auf die Niederungsgebiete des Baruther und des Berliner Urstromtals, auf die Elbeniederung in der Prignitz und die Niederungsgebiete der Ucker in der Uckermark (SCHIRRMEISTER 1996).

Durch umfangreiche geologische Erkundungen auch des tieferen Untergrundes hauptsächlich in der zweiten Hälfte

des vergangenen Jahrhunderts (Erdöl-/Erdgaserkundung, Untergrundgasspeicher, Grundwasserdargebotserkundungen) besteht heute ein solider Kenntnisstand zum geologischen Schichtenaufbau - insbesondere zur Lage und Mächtigkeit des als natürliche Barriere von Süß- und Salzwasser geltenden Rupeltons mit seinen Störungszonen (z. B. quartäre Ausräumungsrinnen, Salzstöcke) sowie der Lage der Süß-Salzwassergrenze. Probleme für die Wasserwirtschaft, insbesondere die Trinkwassergewinnung, bestehen dort, wo durch konzentrierte Wasserentnahme in derartigen geologischen Störungszonen die Süß-Salzwassergrenze bis in die Teufenlage der Brunnenfilter angehoben wurde bzw. die Gefahr hierzu besteht. So sind beispielsweise alle Potsdamer Wasserwerke potenziell salzwassergefährdet (POHL 2003).

Das vom LUA hoheitlich betriebene, landesweite Überblicksmessnetz zum Grundwasser-Monitoring ist sowohl in seiner Organisationsstruktur als auch seiner Zielstellung nicht auf das in ganz Norddeutschland verbreitete Phänomen der Grundwasserversalzung (GRUBE et al. 2000) ausgerichtet. In Regionen mit salinaren Anzeichen besteht grundsätzlich die wasserwirtschaftlich wichtige Aufgabe, den gesamten geogenen Stoffinhalt sowohl des aktuell genutzten als auch des derzeit nicht genutzten Grundwassers zu überwachen.

Dieser kann, wie bereits dargestellt, u. a. in Abhängigkeit von der Höhe der Grundwasserneubildung und der Veränderung der Potenzialverhältnisse und damit ggf. auch des Strömungsfeldes infolge natürlicher oder anthropogener Wasserstandsänderungen in räumlicher und zeitlicher Hinsicht stark variieren. Auch sind hier Stau- und Entwässerungsmaßnahmen von besonderer Bedeutung.

Für solche, in Deutschland regional sehr unterschiedliche hydrogeologische Aspekte verweisen die Empfehlungen der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser von 1999 (LAWA 1999) auf den Aufbau von Sondermessnetzen. In Bezug auf Bereiche mit Salzwasseraufstieg wird in den Empfehlungen auf exakte Angaben zur Konfiguration der Messnetze verzichtet.

Es muss davon ausgegangen werden, dass bisher kein verlässlicher landesweiter Überblick über das aktuelle Ausmaß der Grundwasserversalzung besteht und somit auch keine Möglichkeiten existieren, entsprechende Trends zu erkennen. Seitens des LUA wurde deshalb in den vergangenen vier Jahren sukzessive das Sondermessnetz eingerichtet.

Liegen zukünftig genügend Kenntnisse zur zeitlichen Entwicklung der Versalzung anhand der Monitoringdaten vor, können spezielle Bewirtschaftungsvorgaben für die gefährdeten Gebiete entwickelt werden. Dessen ungeachtet ist es notwendig, die wissenschaftlichen Grundlagen des Süß-/Salzwassermechanismus auch in Gebieten Brandenburgs zu untersuchen, in denen die Versalzung bisher keine gravierenden Auswirkungen erreicht hat!

2.3 Überwachung der oberflächenfernen (tieferen) Grundwasserversalzung (LBGR)

Um negative Entwicklungen rechtzeitig erkennen zu können, ist kurzfristig mit der Errichtung von Salinarmonitoringsystemen im Land Brandenburg, wie oben bereits beschrieben, begonnen worden. Diese gestatten es nach einer gewissen Beobachtungsdauer, die Mechanismen der Salzwasserintrusion regional zu untersuchen und Schlussfolgerungen für Gegenstrategien zur Sicherung der Grundwasserqualität im Allgemein und der Trinkwasserqualität im Besonderen zu entwickeln.

Zielstellung des im Dezernat Hydrogeologie des LBGR geplanten oberflächenfernen, geogen orientierten Salinarmessnetzes ist, zum einen ein Frühwarnsystem in potenziell salinar gefährdeten hydraulischen Einzugsgebieten von Grundwasserlagerstätten zu errichten. Dazu gehört auch die zukünftig verstärkte Inanspruchnahme von Einzugsgebieten ohne bisher erkennbare Salinargefährdung für die Wasserversorgung. Zum anderen soll für perspektiv zu nutzende Grundwasserlagerstätten in geologischen Depositionsgebieten ein Montoringsystem installiert werden. Dieses gewährleistet durch die Langzeitüberwachung eventuelle geogen salinare Entwicklungen im tieferen Süßwasserstockwerk frühzeitig zu beobachten, um mit einer ausreichenden Reaktionszeit neue Grundwasserlagerstätten zu erkunden (HERMSDORF 2005).

Für dieses Monitoring bietet sich das "Hydrogeochemische Genesemodell" des LBGR (RECHLIN 1997, 2000) und seine Weiterentwicklungen (mdl. Mitt. RECHLIN 2007) an, da mit



Abb. 3

Recherchegebiete in Bezug auf die Grundwasserversalzung für die Sondermessnetze des LUA und des LBGR Fig. 3

Investigation areas in respect to the groundwater salinization for the special monitoring networks of the LUA and the LBGR

seiner Hilfe ein beginnender salinarer Stoffeintrag konzentrationsunabhängig, d. h. auch ohne signifikante Veränderung des Chloridwertes erkannt werden kann.

3. Vorbereitende Arbeiten zur Einrichtung des Sondermessnetzes oberflächennahe Grundwasser Versalzung

3.1 Festlegung relevanter Gebiete

Die Arbeiten zum Aufbau des neuen Messnetzes begannen im Jahr 2003. In einem ersten Schritt wurden in Abstimmung zwischen dem LUA und dem LBGR zehn Teilbereiche versalzungsgefährdeter Gebiete im Havel-, Spree und Odereinzugsgebiet festgelegt. Abbildung 3 zeigt diese Gebiete zusammen mit denen der Beobachtungsgebiete des LBGR. In den zehn Gebieten des LUA wurde zunächst eine Analyse des vorhandenen Aufschlussbestandes durchgeführt, bevor in so genannten "Defizitgebieten" (s. Kap. 3.4) anschließend die Notwendigkeit des selektiven Neubaus festgestellt wurde.

Dazu wurden zunächst aktuelle hydrologische bzw. hydrogeologische Kenntnisse zusammengetragen, vorhandene Daten von geeigneten Grundwasseraufschlüssen recherchiert, Vor-Ort-Arbeiten zur Auswahl von Messstellen durchgeführt und diese zusammenfassend zwecks Übernahme in den Messbetrieb bewertet.

3.2 Recherche nach vorhandenen und technisch geeigneten Grundwassermessstellen

Die Recherchearbeiten begannen im Haveleinzugsgebiet im Jahr 2003 und setzten sich in den Folgejahren in den Einzugsgebieten der Spree und der Oder fort.

Aufgrund des historischen oder aktuellen Wissens war hier bekannt, dass salinare Einflüsse in den Grundwasserleitern eine Rolle spielen. Die Recherche bezog sich auf alle verfügbaren Informationen (z. B. Datenbanken, hydrogeologische Erkundungsberichte, Messnetze und Brunnen Dritter) zu den Grundwasseraufschlüssen bzw. Oberflächenwasserentnahmestellen.

Anschließend wurden die in den Gebieten vorhandenen relevanten Daten (Stammdaten, Schichtenverzeichnisse, Ausbaupläne, Beschaffenheitsdaten usw.) in einer Datenbank aggregiert. Die recherchierten Daten zu den Grundwasseraufschlüssen sind eine heterogene Sammlung von Informationen aus unterschiedlichen Zeiträumen. Da das Ziel die Bewertung zur späteren Nutzung einer Messstelle für die Zwecke des Monitorings ist, war es notwendig, die Grundwasseraufschlüsse im Gelände aufzusuchen, hinsichtlich ihrer technischen und hydraulischen Funktionstüchtigkeit zu bewerten und Informationen zur hydrochemischen Beschaffenheit zu erlangen. Bei den örtlichen Kontrollen wurden Besonderheiten zum baulichen Zustand der Messstellen sowie mögliche Einflüsse in der Messstellenumgebung auf die Messwerte ermittelt. Das Ergebnis der Ortseinsicht wurde in Protokollen fixiert

Die Pumpenzugänglichkeit wurde mittels einer Dummy-Sonde vorab getestet, um sicherzustellen, dass eine eventuelle Probenahme (s. Abb. 4) technisch in der gewünschten Teufe (möglichst Filterausbau) möglich ist. War dies nicht der Fall, wurde auf die Probenahme verzichtet. Die mittels Kabellichtlot ermittelten Angaben zu den Teufen und Wasserständen zum Zeitpunkt der Feldarbeiten wurden in die Datenbank übernommen und stellen im Vergleich mit vorhandenen Daten im Einzelfall wertvolle Informationen zur Beurteilung der Messstelle dar.

Insgesamt konnten mit diesen Arbeiten in den Jahren 2003 bis 2005 27 Grundwasseraufschlüsse in den zehn Recherchegebieten als vorläufig geeignet zur Integration in das



Abb. 4 Probenahme an als "vorläufig geeignet" recherchierten Grundwasseraufschlüssen Fig. 4

Sampling at investigated and capable groundwater measurement point

Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge 1-2007

Sondermessnetz identifiziert werden. Diese Aufschlüsse wurden im Zeitraum von 1960 bis 1992 errichtet und sollten in den Folgejahren nach Vorliegen von zeitlichen Wiederholungsmessungen am gleichen Standort entsprechend dem Stand der Technik neu gebaut werden.

Für diese 27 Standorte wurden als Abschluss der Recherchearbeiten Gestattungsverträge zwischen dem Landesumweltamt Brandenburg und dem jeweiligen Besitzer des Flurstückes, auf dem die Messstellen liegen, abgeschlossen. Zusätzlich wurden im Haveleinzugsgebiet fünf Messstellen an den Standorten (Lenzen, Retzow und Paulinenaue) aus dem bisherigen Überblicksmessnetz des LUA, die aufgrund von in der Vergangenheit durchgeführten Beprobungen eindeutige Versalzungserscheinungen belegten, in das Sondermessnetz umgruppiert (am Standort Lenzen in der Prignitz außerhalb der zehn Recherchegebiete). Insgesamt wurden also 32 Messstellen aus vorhandenen Beständen in das Sondermessnetz integriert.

3.3 Ingenieurtechnische Vorbereitung des Messstellenneubaus

Auf Grundlage der recherchierten Kenntnisse zu den Standorten, an denen im Ergebnis der Recherchearbeiten der Messstellenneubau stattfinden sollte, wurden jeweils eine Leistungsbeschreibung und ein Leistungsverzeichnis für die notwendigen technischen Feldarbeiten erstellt. Diese Dokumente basierten auf den anhand der Vorprofile der Altbohrungen ermittelten Mengen pro Position des Leistungsverzeichnisses. Diese Dokumente wurden seitens des LUA als Grundlage für die Zusammenstellung der Verdingungsunterlagen zur Ausschreibung des Neubaus verwendet. Sie beschrieben alle Arbeitsschritte, die zum Bau der Grundwassermessstelle (Bohrarbeiten, Ausbau der Bohrung zu Grundwassermessstellen, Klarpumpen, geophysikalische Vermessung der Messstelle nach deren Errichtung) notwendig waren.

3.4 Durchführung des Messstellenneubaus in Defizitgebieten

Nach Abschluss der Recherchearbeiten zur Identifizierung geeigneter Grundwassermessstellen für das Sondermessnetz "oberflächennahe Grundwasserversalzung" 2004 wurde seit 2005 in Gebieten, in denen keine geeigneten Messstellen zur Verfügung standen, neue Messstellen errichtet.

Im Regionalbereich Süd (Spreee-Neiße-Gebiet) wurden im Jahre 2006 acht Grundwasserbeschaffenheitsmessstellen zur Erfassung der Versalzung errichtet. Somit sind zum gegenwärtigen Zeitpunkt in diesem Gebiet 21 Messstellen in das Sondermessnetz integriert. Messstellendefizite bestehen weiterhin in der versalzungsgefährdeten Region Storkow sowie im Umfeld des Mellensees. Für beide Räumlichkeiten ist der Neubau von jeweils einer Messstelle im Jahr 2007 geplant. Damit wäre das Ausbauziel in Südbrandenburg erreicht. Im Havelgebiet wurden 2006 nur Ersatzneubauten von alten bisher im Messnetz beobachteten Grundwassermessstellen durchgeführt. Insgesamt wurden fünf Messstellen neu gebaut. Eine Erweiterung des Messnetzes in andere potenzielle Versalzungsgebiete (z. B. Gülper See) ist aus Kapazitätsgründen nicht geplant.

Für den Bereich Ostbrandenburg ergab die Recherche, dass in der Uckermark und im Oderbruch Defizite zur Erfassung der Versalzung bestehen. Aus diesem Grunde wurde 2005 eine Dreifachmessstelle in Friedrichsthal in der Uckermark errichtet. Im Oderbruch erfolgte 2006 ein Ersatzneubau in der Gemarkung Alt Tucheband. Mit dem im Jahre 2007 geplanten Ersatzneubau im Oderbruch und den bereits neu errichteten bzw. rekonstruierten Messstellen in beiden Regionen wird der salinare Tiefenwassereinfluss in Ostbrandenburg nach dem derzeitigen Kenntnisstand ausreichend überwacht.

Insgesamt wurden in den drei Einzugsgebieten also 17 Grundwassermessstellen in den Jahren 2005 und 2006 für das Sondermessnetz neu errichtet.

4. Derzeitiger Stand des Sondermessnetzes "oberflächennahen Grundwasserversalzung"

4.1 Messnetz zur Überwachung der oberflächennahen Grundwasserversalzung

Aktuell enthält das Sondermessnetz im Ergebnis der Recherche- und Neubauarbeiten 49 Grundwassermessstellen an 38 Standorten (32 aus Bestand, 17 Neubau). Abbildung 3 zeigt die Lage dieser Messstellen, Tabelle 1 enthält ausgewählte Stammdaten zu den 49 Messstellen.

Die zehn Gebiete konnten in den meisten Fällen mit einer als ausreichend bewerteten Messstellendichte belegt werden. Zudem wurden im Einzelfall zusätzliche Messstellen von Wasserversorgungsunternehmen dem LUA zur Übernahme in das Messnetz empfohlen.

Die Filterangaben in Tabelle 1 zeigen, dass die überwiegende Anzahl der Messstellen im oberflächennahen Bereich verfiltert sind (zumeist 10 bis 30 m unter Gelände). Es gibt jedoch auch einige Ausnahmen hiervon (z. B. der Altbrunnen in Gorgast mit einer geloteten Teufe von 83 m bzw. der Unterpegel in Sperenberg mit einer Tiefenlage der Filterunterkante von 188 m unter Gelände). Der Mittelwert des durch die Aufschlüsse erschlossenen Teufenbereiches der Grundwasserleiter liegt bei 45 m unter Gelände.

4.2 Messnetz zur Überwachung der oberflächenfernen (tieferen) Grundwasserversalzung

Basierend auf dem "Konzept eines Salinarmessnetzes für den tieferen Untergrund im Land Brandenburg" (HERMS-DORF 2005) sowie anhand vorliegender Daten und bekannter Informationen werden aktuell im Rahmen einer Diplom-

Tab. 1	Ausgewählte	e Stammdaten	der 49	Messstellen	des	Sondermessnetzes
--------	-------------	--------------	--------	-------------	-----	------------------

 Tab. 1
 Selected data of the 49 measurement points of the special monitoring network

MKZ	Messstelle (Lage)	Filter	Bau- jahr	GW-Körper	FiOK unter GOK [m]	FiUK unter GOK [m]
29341721	Lenzen	OP	1997	MEL_SL_1	8.00	10.00
29341722	Lenzen	UP	1997	MEL_SL_1	84.00	86.00
33427350	Paulinenaue	OP	1995	HAV_UH_4	4.50	6.50
33427351	Paulinenaue	UP	1995	HAV_UH_4	18.50	20.50
33427520	Retzow		2000	HAV_UH_4	20.80	22.80
34426100	Wachow, Dorfstellen	OP	1971	HAV_UH_4	32.50	34.50
34426101	Wachow, Dorfstellen	UP	1971	HAV_UH_4	96.60	98.60
34426105	Tremmen, Brunnen 2		1992	HAV_UH_4	68.00	75.00
35426145	WW Weseram Brunnen 1		1986	HAV_UH_4	58.00	68.00
37451917	Großbeuthen	UP	2006	HAV_NU_3	33.50	35.50
38431530	Niebel		2006	HAV_NU_2	14.50	16.50
38431565	Schlalach	OP	1971	HAV_NU_2	14.00	16.00
38431560	Deutsch Bork-S		2006	HAV_NU_2	5.50	7.50
38431570	Deutsch Bork-N		2006	HAV_NU_2	16.00	18.00
38431580	Alt Bork		2006	HAV_NU_2	4.00	6.00
27495020	Gramzow	UP	1983	ODR_OD_1	133.00	137.00
27490033	WW Neuhof	OP	1992	ODR_OF_2	69.00	73.00
27495028	Seehausen, Quast	UP	1983	ODR_OF_2	71.00	75.00
28495024	Meichow	UP	1983	ODR_OD_1	119.00	121.00
34522455	Alt Tucheband		2006	ODR_OD_1	72.00	74.00
34532524	Brunnen Fort Gorgast			ODR_OD_1	n. b.	n. b.
34532525	Küstrin		1975	ODR_OD_1	42.50	62.50
28521235	Friedrichsthal	OP	2005	ODR_OD_1	10.00	12.00
28521236	Friedrichsthal	MP	2005	ODR_OD_1	20.00	22.00
28521237	Friedrichsthal	UP	2005	ODR_OD_1	45.00	47.00
37529178	Müllrose (Vers.)	OP	1987	ODR_OD_8	17.10	18.10
37529179	Müllrose (Vers.)	MP1	1987	ODR_OD_8	23.25	24.25
37529180	Müllrose (Vers.)	MP2	1987	ODR_OD_8	28.40	29.40
36510538	Briesen, Pegel 77		1960	HAV_US_3	12.50	18.50
36515016	Briesen, Pegel 80		1973	HAV_US_3	12.50	14.50
36515158	Briesen, Pegel N 15		1971	HAV_US_3	11.00	13.00
38465025	Sperenberg	UP	1967	HAV_DA_3	184.00	188.00
38465093	Kummersdorf-Gut (Vers.)	MP	1986	HAV_DA_3	94.00	96.00
41496011	Lübbenau	OP	1966	HAV_MS_2	22.00	24.00
41496012	Lübbenau	MP1	1966	HAV_MS_2	64.00	66.00
41506050	Burg im Spreewald	UP	1983	HAV_MS_1	51.70	57.70
41526053	Peitz, Hy Pez 4/82	MP1	1982	HAV_MS_2	26.80	29.30
41526054	Peitz, Hy Pez 4/82	UP	1982	HAV_MS_2	50.90	53.40
41526055	Peitz, P 4E/89	MP	1989	HAV_MS_2	41.00	49.00
41526056	Peitz, Hy Pez 5/82	MP1	1982	HAV_MS_2	24.10	26.10
41526057	Peitz, Hy Pez 5/82	UP	1982	HAV_MS_2	51.20	53.20
42516182	Papitz		2006	HAV_MS_2	53.00	55.00
41516011	Werben		2006	HAV_MS_2	53.00	55.00
38465203	Wünsdorf		2006	HAV_DA_3	16.00	18.00
38465204	Mellensee-Süd		2006	HAV_DA_3	17.00	19.00
38465205	Mellensee-Nord		2006	HAV_DA_3	17.00	19.00
37465070	Zossen		2006	HAV_DA_3	12.00	14.00
37475123	Mittenwalde		2006	HAV_DA_3	12.00	14.00
37475124	Schenkendorf		2006	HAV DA 3	18.00	20.00

arbeit Pilotgebiete nach folgenden Rahmenbedingungen ausgewählt:

- Gebiete im Bereich von Grundwasserlagerstätten, die derzeit unbeeinflusst von salinaren Einflüssen sind, sich jedoch durch prognostizierte klimatische Veränderungen aufgrund der geologischen Position zu salinar gefährdeten Gebieten entwickeln können.
- Gebiete im Bereich perspektiv zu nutzender Grundwasserlagerstätten, die durch tiefliegende Anomalien im Salzgehalt geogenen Ursprungs auffällig wurden, jedoch im oberflächennahen Bereich keine Versalzungen anzeigen.

Bei der Auswahl der vorerst fünf Gebiete (s. Abb. 3) wird u. a. vor dem Hintergrund einer zu erwartenden perspektivischen wasserwirtschaftlichen Nutzung auf möglichst differenzierte geologische Bildungsbedingungen abgestellt. Wesentliche Faktoren dabei sind neben tiefreichenden quartären Rinnen und Rupelfehlstellen mögliche Speisungs- und Transitgebiete für das Grundwasser.

Inhaltlich erfolgt eine geologische, hydrogeologische sowie hydrogeochemische Ist-Zustandsanalyse des entsprechenden Gebietes. Hierbei wird auf möglichst aktuelle Daten zugegriffen, vor allem bei der Analytik. So sind für die Bewertungen der einzelnen Gebiete nur Analysen aus 2006 und 2007 verwendet worden. Diese Verfahrensweise gewährleistet vorerst, die Funktionstüchtigkeit der ins Messnetz aufzunehmenden Grundwassermessstellen. Im Ergebnis dieser territorialen Recherchearbeiten und der entsprechenden hydrogeochemischen Auswertungen wurden für jedes Territorium zwei bis fünf flache und tiefe Grundwassermessstellen ausgewählt, die dann in die Dauerbeobachtung übernommen werden.

5. Weitere geplante Arbeiten und Ausblick

Der Aufbau des LUA-Sondermessnetzes "oberflächennahe Grundwasserversalzung" ist hinsichtlich der Auswahl der Untersuchungsgebiete sowie der Anzahl der zu beobachtenden Grundwassermessstellen weitestgehend abgeschlossen. Defizite in den Gebieten Storkow und Mellensee werden durch den Neubau von zwei Messstellen im Jahr 2007 beseitigt. Zudem ist sukzessive der Ersatz von älteren Aufschlüssen geplant, bei denen der erforderliche Sanierungsaufwand höher als die Kosten eines Neubaus ist. So ist die Erneuerung einer Messstelle im Oderbruch für 2007 geplant.

Mit der Frühjahrsbeprobung 2007 wird erstmals der reguläre Messnetzbetrieb für die hydrochemische Überwachung aufgenommen, die dann zweimal jährlich erfolgen soll. Neben den Vor-Ort-Parametern werden die Hauptionen Chlorid, Sulfat, Nitrat, Hydrogenkarbonat, Fluorid, Nitrit, ortho-Phosphat, Natrium, Ammonium, Kalium, Kalzium, Magnesium, Eisen, Mangan, Siliziumdioxid sowie der gesamte organische Kohlenstoff (TOC) analysiert. Bei der erstmaligen Beprobung werden zusätzlich gemäß WRRL einmalig die leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffe und die Schwermetalle Arsen, Blei, Cadmium, Vanadium und Quecksilber untersucht.

Die erhobenen Analysedaten sollten zukünftig in regelmäßigen Abständen - z. B. in Anlehnung an den Beschaffenheitsbericht für die Messstellen der Überblicksüberwachung nach WRRL - einer zusammenfassenden Bewertung, u. a. mit dem Hydrogeochemischen Genesemodell des LBGR unterzogen werden. Die Anforderungen des Modells sind sehr hoch, so dass der exakten Probenahme und Laboranalytik eine große Bedeutung zukommt. Abweichungen der Ionenbilanzen > 0,5 % können die genetische Interpretation der Analysen erheblich beeinflussen bzw. verhindern.

Im Kontext mit der Beschaffenheitsentwicklung des oberflächennahen Grundwassers durch den Einfluss von salinaren Tiefenwässern stehen die Wasserstände. Aufgrund der sehr geringen Grundwasserdynamik in den dominierenden Porengrundwasserleitern ist jedoch eine wöchentliche Beobachtung der Grundwasserstände ausreichend. Verringerungen des Auflastdruckes im oberen Grundwasserleiter werden in den für Salzwasseraufstieg geologisch prädestinierten Gebieten durch den Anstieg der Süß-/Salzwassergrenze ausgeglichen. Dabei kann situationsabhängig der Anhebungsbetrag des Salzwassers ein Vielfaches der Verringerung der Süßwasserlamelle ausmachen (GRUBE et. al. 2000).

Die Auswertung der Messnetzdaten erfolgt in enger Zusammenarbeit mit dem LBGR Brandenburg. Hierbei ist die Verknüpfung der Informationen aus dem Messnetz zur "Überwachung der tieferen Grundwasserversalzung" des LBGR und dem Messnetz "oberflächennahen Grundwasserversalzung" des LUA sowie der Klimadatenreihen der DWD eine Voraussetzung zur integrierten Beobachtung und Auswertung der Salinargefährdung des Grundwassers in Brandenburg.

Das Salinarmonitoring des LBGR wird sich hauptsächlich aus vorhandenen, funktionstüchtigen Grundwassermessstellen aufbauen. Jedoch ist auch in geologisch exponierten Bereichen geplant, neue Messstellen niederzubringen. Die Arbeiten zum Monitoring werden 2007 abgeschlossen sein, um dann ab 2008 die routinemäßige Überwachung der Regionen zu beginnen. Neben den im LUA-Programm erwähnten chemischen Parametern werden hier zusätzlich Barium, Bromid und Bor in das Untersuchungsprogramm aufgenommen.

Im Ergebnis der beiden teufenorientierten Monitoringsysteme zur Grundwasserversalzung sollen u. a. folgende Fragen beantwortet werden:

- Welche Prognose kann hinsichtlich der Entwicklung der oberflächennahen und oberflächenfernen Grundwasserversalzung abgegeben werden?
- Wie stellt sich der natürliche Salzwasseraufstieg in den zu beobachteten Gebieten dar und welche Gefährdun-

gen sind für die wasserwirtschaftlich genutzten und perspektivisch zu nutzenden Grundwasserleiter zu erwarten?

Liegen genügend Kenntnisse zur zeitlichen Entwicklung der Versalzungen anhand der Monitoringdaten vor, können spezielle Bewirtschaftungsvorgaben für die gefährdeten Gebiete entwickelt werden. Dessen ungeachtet ist es notwendig, die wissenschaftlichen Grundlagen des Süß-/Salzwassermechanismus auch in denjenigen Landesteilen zu untersuchen, in denen die Versalzung bisher keine gravierenden Auswirkungen erreicht hat.

Zusammenfassung

Aufgrund der Notwendigkeit, die wasserwirtschaftlich bedeutsamen Grundwasserressourcen Brandenburgs in Bezug auf Veränderungen der Süß-/Salzwasserfront, die u. a. im Zusammenhang mit den prognostizierten Klimaänderungen einhergehen können, zu überwachen, wurde in den vergangenen vier Jahren seit 2003 seitens des LUA in enger Abstimmung mit dem LBGR das Sondermessnetz "oberflächennahe Grundwasserversalzung" aufgebaut. Die Arbeiten umfassten neben Recherchen nach geeigneten Grundwassermessstellen und Brunnen auch entsprechende Geländeuntersuchungen in zehn definierten Problemgebieten. So konnten 32 Messstellen für die jeweils erstmalige Beprobung identifiziert werden. Anschließend wurde in Defizitgebieten ohne geeignete Grundwasseraufschlüsse ein selektiver Neubau von 17 Messstellen in den Jahren 2005 und 2006 durchgeführt. Im Jahr 2007 können somit erstmals alle 49 Messstellen des Sondermessnetzes beprobt werden. Zukünftig steht die Interpretation der an den Messstellen gewonnenen hydrochemischen Daten im Mittelpunkt des Interesses. Seitens des LBGR wird derzeit in fünf Projektgebieten ein tiefenorientiertes Salinarmessnetz installiert, so dass ab 2008 der Beginn der Dauerbeobachtung erfolgen kann. Die Ergebnisse werden Ende 2007 bekannt gegeben.

Summary

Due to the necessity the important groundwater resources in the state of Brandenburg to observe in relation to vertical changes of the salinization front, which can be induced by climate change processes in former four years since 2003 a new groundwater monitoring network in relation to the geogenic groundwater salinization was established by the Landesumweltamt in cooperation with the LBGR. First of all, investigation for capable monitoring sites (groundwater measurement points, wells) were realized in ten problem areas. Following these sites were controlled in the field by simple function tests. Through this, 32 measurement points could be identificated for first sampling. Afterwards in deficit areas without capable monitoring sites 17 new groundwater measuremt points were constructed in 2005 und 2006. For the first time in 2007, all 49 measurement points of the geogenic monitoring network can be sampled. In the future, interpretation of hydrochemical data, which are collected at the monitoring sites, will be important for the development of the network.

At the moment is established by the LBGR a groundwater monitoring to the geogenic groundwater salinization in the depth of fresh water groundwater storey. There are seven areas, in which will taked hydrogeological and hydrogeochemical investigations. 2008 will beginning with the monitoring of the LBGR. The results of this works are publicated in the end of 2007.

Literatur

- BAUMANN, K., BURDE, B. & CH. LIEBAU (2004): Monitoringmethoden für Wasserwerksstandorte mit Salzwassergefährdung. - Fachmagazin für Brunnenbau und Rohrleitungsbau, bbr, 11, S. 31-38, Köln
- EU (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. -Europäische Union, Brüssel
- EU (2006): Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung. - Europäische Union, Brüssel

HERMSDORF, A. (2005): Konzeption zum Salinarmessnetz des LBGR. - Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe, Kleinmachnow (unveröff.)

- HERMSDORF, A. (2006): Überblick zur Grundwasserversalzung im Land Brandenburg. - Bericht des LBGR, Kleinmachnow (unveröff.)
- HERMSDORF, A. & G. HOTZAN (2006): Geogene Versalzung im Land Brandenburg – Grundlagen und Überwachung. - Vortrag Landeslehrstätte Lebus
- GERSTENGABE, F.-W., BADECK, F, HATTERMANN, F., KRYSA-NOVA, V. LAHMER, W., LASCH, P., STOCK, M., SUCKOW, F., WECHSUNG, F. & P. C. WERNER (2003): PIK-Report Nr. 85. Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forstwirtschaft- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. - Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam
- GRUBE, A., WICHMANN, K., HAHN, J. & K. NACHTIGALL (2000): Geogene Grundwasserversalzung in den Porengrundwasserleitern Norddeutschlands und ihre Bedeutung für die Wasserwirtschaft. - Veröff. aus dem Technologiezentrum Wasser Karlsruhe, Bd. 9, Hamburg
- LAWA (1999): Grundwasser Empfehlungen zur Optimierung des Grundwasserdienstes (qualitativ). - Länderar-

beitsgemeinschaft Wasser, AK "Optimierung des Grundwasserdienstes", 36 S., Schwerin

- LEHMANN, H. W. (1974): Geochemie und Genesis der Tiefenwässer der Nordostdeutschen Senke. - Z. f. Angew. Geol. 20, 11, S. 502-509, Berlin
- LEHMANN, H. W. (1974): Geochemie und Genesis der Tiefenwässer der Nordostdeutschen Senke. - Z. f. Angew. Geol. 20, 12, S. 551-557, Berlin
- POHL, S. (2003): Messnetzaufbau zur Erfassung von oberflächennahen Grundwasserversalzungen. - In: Umweltdaten aus Brandenburg, Bericht 2004. - Landesumweltamt Brandenburg, 205 S., Potsdam
- RECHLIN, B. (1997): Zur Anwendung des Hydrogeochemischen Genesemodells der Wässer in den Grundwasserleiterkomplexen des Landes Brandenburg (mittelbrandenburgischer Raum, Stand April 1997). Brandenburg. geowiss. Beitr. **4**, 1, S. 67-71, Kleinmachnow
- RECHLIN, B. (2000): Möglichkeiten der Identifizierung anthropogener Stoffeinträge mit Hilfe des "Hydrogeochemischen Genesemodells der Wässer in den Grundwasserleiterkomplexen des Landes Brandenburg. - Aktuelle Reihe 4.2 (Tagungsband, Teil 2) der BTU Cottbus, S. 68-79, Cottbus
- SCHIRRMEISTER, W. (1996): Aus der Literatur überlieferte Angaben über Salzwasseraustritte an der Grundwasseroberfläche/Geländeoberfläche in Brandenburg. - Brandenburg. geowiss. Beitr. **3**, 1, S. 94-96, Kleinmachnow

Anschrift der Autoren: Dr. Stephan Hannappel HYDOR Consult GmbH Am Borsigturm 40 13507 Berlin

Dipl.-Geoln. Angela Hermsdorf Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg Stahnsdorfer Damm 77 14532 Kleinmachnow

Dipl.-Ing. (FH) Reinhard Koseck Landesumweltamt Brandenburg, Regionalabteilung Süd Von-Schön-Straße 7 03050 Cottbus

Dipl.-Ing. (FH) Stefan Pohl Landesumweltamt Brandenburg, Regionalabteilung West Seeburger Chaussee 2 14410 Potsdam

Dipl.-Chem. Christel Rietz Landesumweltamt Brandenburg, Regionalabteilung Ost Müllroser Chaussee 50 15236 Frankfurt (Oder)

Mitteilung aus dem Landesamt No. 212

Vergleich der quartärstratigraphischen Gliederungen von Nordost-Deutschland und Polen

Comparision of Quaternary stratigraphy used in Northeast-Germany and Poland

ANDREAS BÖRNER

Einleitung

Im Rahmen einer wissenschaftlichen Arbeit über die Genese und den lithologischen Aufbau des Eberswalder Urstromtals und des Oderbruchs im grenznahen Raum zu Polen wurden u. a. auch die verschiedenen, für Norddeutschland und Polen existierenden quartärstratigraphischen Gliederungen vergleichend betrachtet. So wurden die derzeitig gültigen Quartärstratigraphien von Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg mit stratigraphischen Modellen verschiedener polnischer Autoren verglichen, die teilweise in Zusammenarbeit mit Kollegen aus der Ukraine und Weißrussland erarbeitet wurden (LINDNER et al. 2004, 2005). Altersangaben und Einstufungen in Δ^{18} O–Isotopenstufen (Marine Isotopic Stages = MIS) wurden von den verschiedenen Quellen nicht immer mit angegeben und konnten in diesen Fällen nicht zitiert werden.

Holozän bis Weichsel-Spätglazial (MIS 1)

Die Gliederungen des Holozäns und Weichsel-Spätglazials sind in den polnischen und norddeutschen Gliederungen nahezu einheitlich und sollen hier nicht weiterführend diskutiert werden (vgl. STREIF 2004, STRAHL, U. 2004, Nowaczyk 1995). Durch die Fortschritte bei der Auswertung jahreszeitlich geschichteter Seesedimente sowie in der Dendrochronologie konnte die Chronostratigraphie des Weichselspätglazials und des frühen Holozäns in den letzten Jahren bedeutend verfeinert werden. Nach BRAUER et al. (1999) und LITT et al. (2007) wird der Beginn des Weichselspätglazials mit dem Meiendorf-Interstadial bei ca. 14 450 a BP festgelegt, was auch für Mecklenburg-Vorpommern (MÜLLER 2004, KRIENKE et al. 2006) und Ost-Brandenburg (SCHULZ & STRAHL 2001, STRAHL, J. 2005) gilt.

Weichsel-Kaltzeit bis Eem-Warmzeit (MIS 2-5e)

Das Weichsel-Hochglazial (Last Glacial Maximum, LGM, Tab. 1) innerhalb der MIS 2 wird in NE-Deutschland (LIPPSTREU 1999, Stand 2006, Müller 2004) dreigeteilt und in Polen in vier Vorstoßphasen mit weiteren Subphasen untergliedert (MOJSKI 1999, WYSOTA 2002). Nach LINDNER & MARKS (1995) erreichte das Eis im Weichsel-Hochglazial das Festland ca. 22 ka BP. MARKS (2005) wies auf Probleme bei der interstadialen Einstufung der Eisrückzugsphase zwischen der Leszno/Poznan-Phase (qw1) und der Pommerschen Vorstoßphase (qw2) hin, welches in Polen als Mazurian-Interstadial bezeichnet wird (HESS VON WICHDORFF, 1916). In Mecklenburg werden auf Grund der Fundleere an interstadialen Bildungen zwischen weichsel-hochglazialen Grundmoränen Zweifel an der Existenz eines äquivalenten Blankenberg Interstadials geäußert (Müller et al. 1993, Müller 2004).

Das vor ~58 ka BP beginnende Grudziądz-Interstadial (MOJSKI 2005, Tab. 1) entspricht nach der Einstufung in die MIS 3 dem Kerkwitz-Interstadial in Brandenburg (LIPPSTREU 1999, Stand 2006), dem Sassnitz-Interstadial in Mecklenburg-Vorpommern (MÜLLER 2004) und der Abfolge vom Denekamp-Intervall bis zum Ebersdorf-Stadial in Niedersachsen (STREIF et al. 2004). Am östlichen Oderbruchrand konnte PIOTROWSKI (2003) in Bohrungen bei Chlewice fluviatile Sande und Torfe aus dem Grudziądz-Interstadial in einem Niveau von -20 m NN nachweisen.

Das Stadial Vistulian 3 (MIS 4) wird mit einer nordpolnischen Vereisungsphase im Śwecie-Glazial gleichgesetzt (MOJSKI 2005), welche am ehesten dem Schalkholz-Stadial und dem Stadial VII in Brandenburg (Tab. 1) entsprechen würde. Eine Konnektierung dieser Eisvorstoßphase in Polen mit dem sogenannten Warnow-Vorstoß in Mecklenburg-Vorpommern (MÜLLER 2004a) ist wahrscheinlich, wenn auch derzeit noch nicht durch absolute Datierungen belegt.

Die MIS 5 wird einheitlich in fünf Unterstufen gegliedert, wobei die Stufe 5e mit der vor ~130 ka BP beginnenden Eem-Warmzeit zusammenfällt. In Polen wird das Rudunek-Interstadial (Tab. 1) der Stufe 5a dem Odderrade-Interstadials gleichgesetzt. Das Kashubian-Stadial der Stufe 5b würde dem Redderstall-Stadial, das Amersfort-Interstadial der Stufe 5c dem Brörup-Interstadial und die Stufe 5d dem Herning-Stadial entsprechen (Mojski 1999). Die Wertigkeit einer Vereisungsphase im Torun-Glazial der MIS 5b (Moj-SKI 1991) bedarf weiterer Befunde und wird in Polen aktuell diskutiert. Tab.1

Vergleich des Ober-Pleistozäns von Brandenburg, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern und Polen (S = Stadial, IS = Interstadial, I = Intervall, E = Erwärmung)

Tab.1

Comparision of stratigraphical units of the Upper-Pleistocene in Brandenburg, Lower Saxony, Mecklenburg-Vorpommern and Poland (S = Stadial, IS = Interstadial, I = Intervall, E = Erwärmung)

I Do	toilalia	dorupa	Do	tailaliadaruna	Doto	ilaliodoru	na Stra	Detailgliederung			
Stratigraphie			Stratigraphie			klenburg-	Vorpor	imern Müller	Stratigraphie Polen		
LIP	PSTRE	ourg ∪ (1999, Stand	ST	REIF et al. (2004)	(200	4, 2004a))		WYSOTA (2002) *	¥2	
200	06)										
Ho	lozän		Ho	lozän	Holo	zän		Holocene			
	Weic	hsel-Spätglazial	Ob	er-Weichsel		Weichs	el-Spätę				
		Mecklenburger			zial)		Meckl	enburger	Gardno-phase *1	,2	
		Angermünder	-		hgla	leckle burge Phas	VOIGU	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,			
	a	Statie	4		400		D		Demonstration	1	
chsel	glazi	Pommersches Stadium (qW2)		eit	hsel-H	rsche se	Pomm Haupt (gW20	erscher -Vorstoß	Pomeranian phase ^{*1,2}	lia#1	
Veic	ц С			(altz	/eic	has	Frühp	ommerscher	Krajna	stao	
eres V	H-H			x-lasc	el (V	Pom	Maxim (qW2u	nal-Vorstoß J	subphase*2	Main-S	
QD6	lse		1	/eicl	chs				Chodie	*2 ,	
	ict	Frankfurter	0	5	Vei	rger			subphase *',2	acial	
	Me	Staffel (gW1F)	shse		es /	nbu ase				nigla	
	-		Veio		ber	Ph	Frank	furter Staffel	Pozna	-Ple	
		Brandenburger Stadium (gW1)	el-V		0	Bra	Brand	enburger	Leszno	iórny	
			Mitt	Denskame IO		Develop	Vorsto	ß	phase* ^{1,2}	0	
		(Kerkwitz-IS) Stadial IX	-	Denekamp-IS	Isel	Stadial	np-15	Casanitz IS			
sel		Sassnitz-IS (= IS VIII)	-	Hengelo-IS	Veich	Hengelo	IS	(= IS VIII)	Grudzi dz 13	acial *2	
sichs		(,	-	Moershoofd-IS-Komplex	N Si	Stadial				- Inigla	
We				<u> </u>	0					e l	
S I				Glinde-IS	er	Glinde-IS	3			5	
ere	<u>م</u>	T>		Glinde-IS Ebersdorf-S	Aittler	Glinde-IS	ff-S			Inter,	
Aittlere	azial	adial VII		Ebersdorf-S Oerel-IS	Mittler	Glinde-IS Ebersdor Oerel-IS	s rf-S		Maliniec 1-E * ¹	Inter	
Mittlere	rühglazial	Stadial VII		Glinde-IS Ebersdorf-S Oerel-IS Schalkholz-S	Mittler	Glinde-IS Ebersdoi Oerel-IS Schalkho (Warnov	olz-S v-Vorsto	ß, qW0?)	Maliniec 1-E * ¹ Vistulian 3 * ¹ Pre-Grudzi dz-S* ¹ wiecie-Stadial * ¹		
Mittlere	el-Frühglazial	Stadial XI		Glinde-IS Ebersdorf-S Oerel-IS Schalkholz-S	el Mittler	Glinde-IS Ebersdoo Oerel-IS Schalkho (Warnov	rf-S blz-S v-Vorsto	ß, qW0?) ∨I)	Maliniec 1-E * ¹ Vistulian 3 * ¹ Pre-Grudzi dz-S* ¹ wiecie-Stadial * ¹ . Dolny-Pleniglacial ¹ Rudunki-IS * ^{1,2}		
Mittlere	hsel-Frühglazial	Interstadial VI (Odderade)	-	Glinde-IS Ebersdorf-S Oerel-IS Schalkholz-S Odderade-IS	hsel Mittler	Glinde-IS Ebersdon Oerel-IS Schalkho (Warnov	rf-S DIZ-S v-Vorsto de-IS (IS	β, qW0?) ∨I)	Maliniec 1-E * ¹ Vistulian 3 * ¹ Pre-Grudzi dz-S* ¹ wiecie-Stadial * ¹ , Dolny-Pleniglacial ^{*1} Rudunki-IS * ^{1,2}	2 *2	
Mittlere	eichsel-Frühglazial	Interstadial VI (Odderade) Stadial V		Glinde-IS Ebersdorf-S Oerel-IS Schalkholz-S Odderade-IS Rederstall-S	eichsel Mittler	Glinde-IS Ebersdor Oerel-IS Schalkho (Warnov Odderrad Redders	f-S blz-S v-Vorsto de-IS (IS tall-S (S	ß, qW0?) ∨I) ∨)	Maliniec 1-E * ¹ Vistulian 3 * ¹ Pre-Grudzi dz-S* ¹ wiecie-Stadial * ¹ , Dolny-Pleniglacial * Rudunki-IS * ^{1,2} Vistulian 2-S * ^{1,2} Kashubian-'Toru 2	Lugarda 2 *2 S* ¹	
hsel Mittlere	Weichsel-Frühglazial	Interstadial VI (Odderade) Stadial V	hsel	Glinde-IS Ebersdorf-S Oerel-IS Schalkholz-S Odderade-IS Rederstall-S	Weichsel Mittler	Glinde-IS Ebersdoi Oerel-IS Schalkho (Warnov Odderrad Redders	f-S blz-S v-Vorsto de-IS (IS tall-S (S	β, qW0?) ∨I) ∨)	Maliniec 1-E * ¹ Vistulian 3 * ¹ Pre-Grudzi dz-S* ¹ wiecie-Stadial * ¹ Dolny-Pleniglacial ⁴ Rudunki-IS * ^{1,2} Vistulian 2-S * ^{1,2} Kashubian-'Toru ¹ (Toru -Glaciation)	S* ¹	
Veichsel Mittlere	Weichsel-Frühglazial	Interstadial VI (Odderade) Stadial V Brørup-IS (IS IV	leichsel	Glinde-IS Ebersdorf-S Oerel-IS Schalkholz-S Odderade-IS Rederstall-S Brørup-IS	es Weichsel Mittler	Glinde-IS Ebersdoi Oerel-IS Schalkho (Warnov Odderrad Redders	f-S blz-S v-Vorsto de-IS (IS tall-S (S Brøru (IS	ß, qW0?) VI) V) IP-IS IV	Maliniec 1-E * ¹ Vistulian 3 * ¹ Pre-Grudzi dz-S* ¹ wiecie-Stadial * ¹ , Dolny-Pleniglacial * Rudunki-IS * ^{1,2} Vistulian 2-S * ^{1,2} Kashubian-'Toru ¹ (Toru -Glaciation	S ^{*1} S ^{*2}	
es Weichsel Mittlere	Weichsel-Frühglazial	Interstadial VI (Odderade) Stadial V Brørup-IS (IS IV S III IS II)	er-Weichsel	Glinde-IS Ebersdorf-S Oerel-IS Schalkholz-S Odderade-IS Rederstall-S Brørup-IS	teres Weichsel Mittler	Glinde-IS Ebersdor Oerel-IS Schalkho (Warnov Odderrad	f-S olz-S v-Vorsto de-IS (IS tall-S (S Brørt (IS S S	ß, q₩0?) VI) V) IP-IS IV III III	Maliniec 1-E * ¹ Vistulian 3 * ¹ Pre-Grudzi dz-S* ¹ wiecie-Stadial * ¹ . Dolny-Pleniglacial * Rudunki-IS * ^{1,2} Vistulian 2-S * ^{1,2} Kashubian-'Toru ² (Toru -Glaciation *	rup/ fort-IS*2 (
iteres Weichsel Mittlere	Weichsel-Frühglazial	Interstadial VI (Odderade) Stadial V Brørup-IS (IS IV S III IS II)	Jnter-Weichsel	Glinde-IS Ebersdorf-S Oerel-IS Schalkholz-S Odderade-IS Rederstall-S Brørup-IS	Unteres Weichsel Mittler	Glinde-IS Ebersdoi Oerel-IS Schalkho (Warnov Odderrad Redders	f-S biz-S v-Vorsto de-IS (IS tall-S (S Brørt (IS S IS	ß, qW0?) ∨I) ∨) Ip-IS IV III III	Maliniec 1-E * ¹ Vistulian 3 * ¹ Pre-Grudzi dz-S* ¹ wiecie-Stadial * ¹ , Dolny-Pleniglacial ³ Rudunki-IS * ^{1,2} Vistulian 2-S * ^{1,2} Kashubian-'Toru ¹ (Toru -Glaciation ¹) Jozefow-IS (Amersfort-IS)* ¹	Brørup/ 5 5 5 1 nersfort-IS*2 t	
Unteres Weichsel Mittlere	Weichsel-Frühglazial	Interstadial VI (Odderade) Stadial V Brørup-IS (IS IV S III IS II)	Unter-Weichsel	Glinde-IS Ebersdorf-S Oerel-IS Schalkholz-S Odderade-IS Rederstall-S Brørup-IS	Unteres Weichsel Mittler	Glinde-IS Ebersdor Oerel-IS Schalkho (Warnov Odderrad Redders	f-S biz-S v-Vorsto de-IS (IS tall-S (S Brørt (IS S IS	ß, qW0?) ∨I) ∨) ID-IS IV III III II)	Maliniec 1-E *1 Vistulian 3 *1 Pre-Grudzi dz-S*1 wiecie-Stadial *1 Dolny-Pleniglacial * Rudunki-IS *1.2 Vistulian 2-S *1.2 Kashubian-'Toru * (Toru -Glaciation * Jozefow-IS (Amersfort-IS)*1	Amersfort-IS*2 (1+0) = 2 = 2 = 1 = 1 = 1 = 1 = 1 = 1 = 1 = 1	
Unteres Weichsel Mittlere	Weichsel-Frühglazial	Interstadial VI (Odderade) Stadial V Brørup-IS (IS IV S III IS II) Stadial I	Unter-Weichsel	Glinde-IS Ebersdorf-S Oerel-IS Schalkholz-S Odderade-IS Rederstall-S Brørup-IS Herning-S	Unteres Weichsel Mittler	Glinde-IS Ebersdoi Oerel-IS Schalkho (Warnov Odderrad Redders	f-S jlz-S v-Vorsto de-IS (IS tall-S (S Brørr (IS S IS S (S I)	ß, qW0?) ∨I) V) Ip-IS IV III III II)	Maliniec 1-E * ¹ Vistulian 3 * ¹ Pre-Grudzi dz-S* ¹ wiecie-Stadial * ¹ , Dolny-Pleniglacial ¹ Rudunki-IS * ^{1,2} Vistulian 2-S * ^{1,2} Kashubian-'Toru ¹ (Toru -Glaciation ¹ Jozefow-IS (Amersfort-IS)* ¹	Amersfort-IS*2 (** 0 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	
Unteres Weichsel Mittlere	Meichsel-Frühglazial	Interstadial VI (Odderade) Stadial V Brørup-IS (IS IV S III IS II) Stadial I stadial I em-Warmzeit	Unter-Weichsel	Glinde-IS Ebersdorf-S Oerel-IS Schalkholz-S Odderade-IS Rederstall-S Brørup-IS Herning-S Eem-Warmzeit	Unteres Weichsel Mittler	Glinde-IS Ebersdor Oerel-IS Schalkho (Warnov Odderrad Redders Herning-	fr-S biz-S v-Vorsto de-IS (IS tall-S (S tall-S (S IS S (S I) m-Warn	ß, qW0?) VI) V) ID-IS IV III III II)	Maliniec 1-E *1 Vistulian 3 *1 Pre-Grudzi dz-S*1 wiecie-Stadial *1 Dolny-Pleniglacial * Rudunki-IS *1.2 Vistulian 2-S *1.2 Kashubian-'Toru * (Toru -Glaciation * Jozefow-IS (Amersfort-IS)*1 Vistulian 1*1.2 (Pre-Josefow-S *1) Eemian Intergla	Amersfort-IS*2 (1* 2* 2* 2* 1* 1* 1* 1* 1* 1* 1* 1* 1* 1* 1* 1* 1*	

Tab.2

Vergleich des Mittel-Pleistozäns von Brandenburg, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern und Polen Tab.2

Comparision of stratigraphical units of the Middle-Pleistocene in Brandenburg, Lower Saxony, Mecklenburg-Vorpommern and Poland

Detailgliederung Stratigraphie Brandenburg LIPPSTREU (1999, Stand 2006)			Detailgliederung Stratigraphie Niedersachsen STREIF et al. (2004)				ederung Stratigraphie burg-Vorpommern 2004) ow, 2000)	Detailgliederung Stratigraphie Polen Mojski (1995, 2005)* ² LINDNER et al. (2004)* ³ BER (2006)* ⁴						
	Saale-Spätglazial				Saale Spät- glazia	ə- - al	Saale C Saale B Saale A		BER (2006)^					
beres Saale	Jüngeres Saale- Stadium (Warthe)	Warthe-S.			Warthe-S.			Warthe-S.			stoß	Wartanian-S. Kamienna-IS. (Lubavian- Interglacial* ²)	inian *³	
0	Alteres Saale-Stadium (Drenthe)	nplex		Jüngere Drenthe Haupt-Drenthe	Hocl		Ålterer Saale Vorsto (Drenthe)	ß	Odranian-S. (Krznanian- Glacial ^{*3})	an-S				
_	Warmzeit? Stadial?	saale-Kor	·		T		Saale-Frühglazial s							
Unteres Saale Saale-Frühglazie	Dömnitz-Warmzeit Fuhne-Kaltzeit B Pritzwalk-Interstadial Fuhne-Kaltzeit A			Dömnitz- Warmzeit (= Wacken-, Schöningen-, Hoogeveen- Warmzeit) Fuhne-Kaltzeit	Saale-Frühglazia		Dömnitz- Warmzeit Fuhne-Kaltzeit B (?Fuhne- Vereisung* ¹) Pritzwalk- Interstadial Fuhne-Kaltzeit A	Kraaker Schichten* ¹	Zbójno-Intergla Liwiec-Glacia (Liwiecian-Glacia	cial* ³ tion ation* ⁴)				
Holstein-\	Holstein-Warmzeit			n-Warmzeit	Holst	ein	Warmzeit		Mazovian-Intergl	acial				
Elster-Sp	ätglazial	-			Elste (mit L	r Sp _au	pätglazial enburger Ton)	2	Sanian 2 Stage	I				
Elster-Hochglazial	Älterer Elster-Vorstoß	Elster-Komplex	Elster-Kaltzeit s.str. Gelkenbach-IS. Roter Ton von		Elster-Kaltzeit s.str.		Elster-Kaltzeit s.str.			Ält	terer Elster-Vorstoß	2	Ferdynandovian- Interglacial	
Elster-Frü	ihqlazial		В	lisnausen	Flste	r-Fr	rühalazial		Sanian 1 Stage					
(Cromer-Komplex	Rhume-Warmzeit (=Kärlich) Glacial C E Rosmalen- Warmzeit - - - - -		(= Hagenower Schichten?* ¹) Cromer-Komplex			2*1)	Przanyszian Warm Stage (=Małopolanian- Interglacial? * ³)						
		Cror	С	Warmzeit Glazial A <u>Sterholz-Warmzeit</u>					Nidanian-Glacial ^{*3,4}					
stozän	Frühpleistozäne Kalt-/ Warmzeitenkomplexe	eistozän	avel-Komplex	Dorst-Kaltzeit Leerdam- Warmzeit Linge-Kaltzeit Bavel-Warmzeit	(=	= Ha	agenower Schichten? Altpleistozän	?*1)	Interglacial *3,4					
Altplei		Unter-Pl ₆	Me Wi Eb Te Pr	Menap-Komplex Waal-Komplex Eburon-Kaltzeit Tegelen-Kaltzeit					Narevian Stage Eo-Pleistocene					

Saale-Kaltzeit bis Holstein-Warmzeit (MIS 6-9)

Die Saalevereisung (Oberes Saale, MIS 6) wird in Mecklenburg-Vorpommern (Müller 2004), Brandenburg (Lippstreu et al. 1995) und Niedersachsen (STREIF et al. 2004) prinzipiell zweigeteilt in Drenthe- und Warthe-Vorstoß (Tab. 2). Eine Ausnahme stellt in Brandenburg das Teltow-Plateau im südlichen Berliner Raum dar, wo über Holstein-Ablagerungen nur ein sicher saalezeitlich eingestufter Geschiebemergelhorizont belegbar ist (HERMSDORF 1995). STANKOWSKI (2001) fasst die Phasen der Odra- und Warta-Vereisungen in Polen zu einem einheitlichen "Middle Polish Glacial" zusammen, welches von LINDNER et al. (2004) in das MIS 6 eingestuft wird. Dagegen stuft MOJSKI (2005) ein auf Lössstratigraphie basierendes "Przedwarciański-Interstadial" (= Kamienna-Stadial, MOJSKI 1995) zwischen das Odra-Stadial (Drenthe) und das Warta-Stadial (Warthe) ein. Thermolumnizsenz (TL) datierte Bodenbildungsprozesse in den Lößgebieten SE-Polens lassen nach ŁANCZONT & WOJTANOWICZ (1999) auf einen warmzeitlichen Charakter (chemische Bodenverwitterung von temperierten Klimaten) des Interims zwischen Odra- und Warta-Vereisung schließen.

Die Kompliziertheit der Intra-Saale-Gliederung in Polen wird deutlich, wenn beispielsweise bei BER (2006) das Odra-Glazial mit dem Krzna-Glazial gleichgesetzt wird, die vom jüngeren saalezeitlichen Warta-Glazial durch das Lubavian-Interglazial getrennt sind (Tab. 3). Wie schwierig die Parallelisierung der polnischen mit der deutschen Quartärstratigraphie ist, zeigt auch die fehlerhafte Einstufung der Kärlich-Warmzeit in den Frühsaale-Komplex (richtig wäre Spät-Cromer-Komplex, vgl. STREIF et al. 2004) oder die Gleichsetzung des Kärlich- mit der Schöningen-Warmzeit (BER 2006).

Dagegen ergaben sich im gesamten nordostdeutschen Raum bis heute keine eindeutigen Belege für eine intrasaalezeitliche Warmphase (s. Abb. 1, vgl. LITT 1992, LITT & TUR-NER 1993, LITT et al. 2007). Der Nachweis, der von CEPEK (zuletzt in CEPEK & LIPPSTREU 1999) publizierten "Uekker-Warmzeit" ist in NE-Deutschland nicht zu halten, da neue Untersuchungen von HERMSDORF & STRAHL (2006) an Forschungsbohrungen vom "locus typicus" der "Uecker-Warmzeit" bei Röpersdorf (Uckermark) die warmzeitliche Abfolge von Mudden und Torfen als glazitektonisch gestörte, inverse Ablagerungen der Eem-Warmzeit identifizierten.

Im mitteldeutschen Raum wird die Abschmelzphase zwischen dem Drenthe- und Warthe-Vorstoß als Seyda-Intervall bezeichnet (WANSA in LITT et al. 2007). Diese intrasaalezeitliche Rückschmelzphase wird im mitteldeutschen Raum ausschließlich durch kaltzeitliche, glazifluviale bzw. glazilimnische Ablagerungen dokumentiert (WANSA in LITT et al. 2007). Ein weiteres Indiz für kaltklimatische Bedin-



Abb.1 Quartärgliederung NW-Europa und Nord-Deutschland, Auszug aus der stratigraphischen Tabelle von Deutschland (Hrsg. DSK) (2002)

Fig.1

Comparision of stratigraphical units of the Pleistocene in NW-Europe and North-Germany, detail from the stratigraphical table of Germany (ed. DSK) (2002)

Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge 1-2007

gungen zwischen jüngerem Drenthe- und Warthe-Vorstoß finden sich in SE-Brandenburg im Bereich der Hornoer Hochfläche, wo die zwischengeschalteten glazilimnischen Sedimente überwiegend aus dem Tertiär umgelagertes Material beinhalten (KÜHNER 2003).

Die Dömnitz-Warmzeit innerhalb des Unteren Saale (Tab. 2) wird nach den aktuellen Angaben bei LITT et al. (2007) in die MIS 7 eingeordnet. Die Kraaker Schichten aus Bohrungen in SW-Mecklenburg umfassen nach v. Bülow (2000) die Ablagerungen des Holstein s. str. und der Fuhne-Kaltzeit mit dem Pritzwalk-Interstadial sowie der Dömnitz-Warmzeit. Diese Abfolge läßt sich in gleicher Form auch in Brandenburg wiederfinden. Ein lokal, nur in SW-Mecklenburg beschriebener Till über gesichertem Holstein und unter Saale-hochglazial eingestuften Ablagerungen wird einem Fuhne-stadialen Eisvorstoß, der dem MIS 8 entspräche, zugeordnet (v. Bülow 2000). Es fehlen in Norddeutschland jedoch weitere, vor allem gesicherte Befunde für diesen Fuhne-zeitlichen Eisvorstoß. Dagegen könnten in Polen die glazigenen Sedimente aus dem Liwiec-Glazial (MIS 10, BER 2006, LINDNER et al. 2004) ein Äquivalent einer Vergletscherung im "Fuhne-Stadial" (= Fuhne-Kaltzeit?) darstellen. In Polen wird eine der Dömnitz-Warmzeit (MIS 7 nach LITT et al. 2007) äquivalente Wärmephase als Zbójno-Interglazial bezeichnet, aber im Gegensatz zur deutschen Einstufung in die MIS 9 eingeordnet.

Die Holstein-Warmzeit (Tab. 2) wird von GEYH & MÜLLER (2005) der MIS 9 zugerechnet und beginnt in Brandenburg (LIPPSTREU 1999, Stand 2006) und Mecklenburg-Vorpommern (MÜLLER 2004) vor ~ 370 ka BP und in Niedersachsen (STREIF et al. 2004) vor ~ 335 ka BP. Dagegen wird in Polen das entsprechende Mazovian-Interglazial jedoch in die MIS 11 eingestuft. Die Angaben für den Beginn des "Mazovian-Interglazials" varrieren zwischen ~ 360 ka BP (MOISKI 1995) und 428 ka BP (BER 2006).

Elster-Kaltzeit

Der der Beginn der Elster-Kaltzeit liegt im MIS 12 und wird in Brandenburg (LIPPSTREU 1999, Stand 2006) und Mecklenburg-Vorpommern (Müller 2004) mit ~ 475 ka BP und in Niedersachsen (STREIF et al. 2004) mit 385 ka BP angegeben, während die Angaben für Polen bei 510 ka BP (MOJSKI 1995) bis 530 ka BP (LINDNER et al. 2004, ŁANZONT & WOJTANOWICZ 2005) liegen. In Mitteldeutschland wird der erste, am weitesten nach Süden reichende Elster-Vorstoß von EISSMANN (1975) als Zwickau-Phase bezeichnet. Dieser erste Elster-Vorstoß wird durch das Miltitz-Intervall vom zweiten Elster-Vorstoß, der Makranstädter Phase (EISSMANN 1975), abgetrennt.

In Polen wird die ältere San 2-Vorstoßphase des Wilga-Stadials durch das zwischenliegende Mrongovian-Interstadial von einer zweiten Vorstoßphase im Brokian-Stadial getrennt (LISICKI & WINTER 1999).

Die stratigraphische Stellung der in Rinnenprofilen SW-Mecklenburgs von v. Bülow (2000) beschriebenen "Hagenower Schichten" ist nicht eindeutig geklärt. V. Bülow (2000) stuft die Hagenower Schichten als prä-elsterzeitlich in das Cromer s. 1. oder in den Bavel Komplex ein. Diese Einstufung ist jedoch umstritten, da die Hauptanlage der subglazialen Tiefrinnen und damit auch die darin abgelagerten Schichten von vielen Autoren mit der Elster-Kaltzeit verknüpft wird (Rühberg et al. 1995, Müller 2004). Einen spätelsterzeitlichen Leithorizont stellt aufgrund seiner typischen Ausbildung der Lauenburger Ton dar. Der Lauenburger Ton tritt sowohl in Schleswig-Holstein, Niedersachsen (CASPERS et al. 1995) und im westlichen Mecklenburg zumeist in den oberen Schichten der subglazial-glazifluviatil erodierten Tiefrinnen auf und wird stratigraphisch in die Abschmelzphase der Elster-Kaltzeit gestellt (Müller 2004).

Prä-Elster

Die Gliederung des prä-elsterzeitlichen Cromer-Komplexes und des Alt-Pleistozäns in NE-Deutschland ist in Tabelle 2 zusammengefasst. Ein Vergleich mit aktuellen Gliederungen aus der polnischen Literatur zeigt vor allem bei den Zeitangaben äquivalenter stratigraphischer Horizonte stärkere Abweichungen (Tab. 3).

So gibt es für die prä-elsterzeitlichen Vereisungen in Polen keine äquivalenten Nachweise in NE-Deutschland.

Das Ferdynandóvian-Interglazial wird nach BER (2006) mit der Voigtstedt-Warmzeit parallelisiert (= jüngerer Cromer-Komplex?, UNGER & KAHLKE 1995). In NE-Polen (Suwałki Seengebiet) fehlen Torfbildungen und damit eindeutige palynologische Befunde für diese Warmzeit, dafür finden sich Sande und Schluffe mit Molluskenfauna aus weit verbreiteten Sumpfgebieten (BER 2006). Nach LINDNER et al. (2004) wird das Ferdynandóvian-Interglazial mit dem Cromer IV (= Rhume-Warmzeit, STREIF et al. 2004) gleichgesetzt und durch ein zwischenliegendes Stadial (MIS 14 ? = Glazial C?) in Ferdynandóvian I (= MIS 15?) und Ferdynandóvian II (= MIS 13?) untergliedert (Tab. 3). Das San 1-Glazial wird nach LINDNER et al. (2004) mit dem Glazial B im Cromer-Komplex (UNGER & KAHLKE 1995) gleichgesetzt. Die San 1-Vereisung erreichte nach BER (2006) das Gebiet von NE-Polen, dort blieb der rötliche San 1-Till nur in Tiefenzonen erhalten.

Das Małopolanian-Interglazial wird nach BER (2006) mit den warmzeitlichen Cromerstufen II oder III (II = Hunteburg-?, III = Rosmalen-Warmzeit?, STREIF et al. 2004) korreliert. Im Gegensatz zu Litauen und Weißrussland wurden in NE-Polen bis jetzt Ablagerungen des Małopolanian-Interglazials aber nur einmal in einer Bohrung bei Białystock (KACPRZAK et al. 2002 zit. in BER 2006) nachgewiesen. Das Nidan-Glazial (830 ka BP, LINDNER et al. 2005) wird mit dem Glazial A im Cromer-Komplex (= Helme-Kaltzeit?, UNGER & KAHLKE 1995) parallelisiert (LINDNER et al. 2004). Nach LINDNER et al. (2004) erreichte das Eis der Nidan-Vereisung die Sudeten.

Quaternary Stratigraphy of Poland (Мојзкі 1995)					R et al. (2005) R (2005) * ¹	LINDNER (200	et al. 05)	LINDI suppl suppl suppl	NER et al. (2004) * ³ . Bogucky et al. (2004) * ² I. ŁANCZONT & WOJTANOWICZ I. LISICKI & WINTER (1999) * ⁵	Comparision Quaternary Stratigraphy Western-			
(IG = Interglacial)					Age in Age in ka BP (* ¹) Age in to C (OIS = Oxygen Isotopes Stages) (OIS) S = Stadial IS = Interstadial G = Glaciation			Age in ka BP (* ² , * ⁴)	¹⁸ O (OIS)	Europe (In: LINDNER et al. 2004) suppl. BER (2005* ¹)			
	Warta-Stadial		220-130) Warta 198			?		сі.	Wartanian- stage			Warthe
	Kamienna- Stadial		300-260		(= Kärlich?) *) 6						6	(Kärlich-IG* ¹)	
tage	Odranian-Stadial	ene	230-270	Polski	Odra (Odra = Krzna?)*	198	210		Warta	Odranian-stage			Drenthe
nain S	Zbójno-Interglacial	leistoc		odkowe	Lubavian (= Kärlich?) * ¹	252	230	7	Lubay	vian-Interglacial	~225*4	7	Schöningen
dra		leop		sr	(Odra = Krzna?)* ¹	302	330	8	(NE-P	nian-Glaciation Polen)	320	8	Cooling ?
0	Linder Oleviation	2		plek	Zbójno	338	360	9	Zbójn	ian-Interglacial	340	9	Reinsdorf
	(Premaximum- Stadial)		310	Kor	LIWIEC	352	400	10	iwiecian- blaciation	Interstadiał *2	375	. 10	Funne Coolinį
Maz	ovian-Interglacial		360		Mazowsze	428	430	11	0 [Mazovian-Interglacial	400	11	Holstein Interglacial
San Eisv	ian 2 Stage (1x orstoß)	2 Stage (1x 510-47 oß)			San 2	480	530	12	Sanian 2 - G. Mu Mi Mi Mi Mi	bkian S. * ⁵ Młodszy S. * ² Interstadiał * ² Recesyjny S. * ² Interstadiał * ² Interstadiał * ² Interstadiał * ² Maksymalny S. * ² Przedmaksymalny stadiał * ²	455 475 490 500 520 530	12	Elster 2
Ferd	dynandovian-IG. 2							13	Ferdy	nandovian 2 (s. lato) -		13	Cromer IV
Glaciation (till) 606-604		606-604		Ferdynandów	630	620	14	Ferdy	nandovian 1/2-Cooling	550	14	Glazial C	
Fere	dynandovian-IG. 1							15	(suba Ferdy	nandovian 1-	_	15	Cromer III
San	ian 1 Stage		690.2	olski	San 1	687	660	16	Interg Sania	lacial n 1-Glaciation		16	Warming Glazial B
		cene	090 !	o w o - P	Kozi Grzbiet (Małopolski * ¹)	790	780	17 18 19	Małopolanian-Interglacial (temperiertes Klima)			17 18	Cromer II Warming
		pleisto		o∤udni	Nidan Glacial		830	20	Nidan (?= Ni	ian-Glaciation arevian in Belarus)		19 20	Glazial A
Prza Wai	anyszian m Stage	Meso		eks Po	Przanyszian (Podlaski * ¹)		~900	21-	Àugus (2. Kli	stovian 2-Interglacial maoptimum)		21- 23	Cromer I Warming
				Kompl			000	33	Augus Augus	stovian 1/2-Cooling stovian 1 (s. lato)- lacial		24 25-	? Dorst Coolin Leerdam Warming
									(Klima filiculo	aoptimum u. a. mit Azolla bides, Salvinia)		27	Wanning
									Young	ger Pre Augustovian- ng		28- 30	Linge Coolinç
						970			Older (Inter	Pre Augustovian-Warming glazial?)	1	31- 33	Bavel s.str.
an	Jüngerer Eisvorstoß		705 70		Narevian				Narev	ian- Glaciation		34	Menap
Narevi	(fluviatile Schotter, (gemäßigtes Klima)		785-761				~1.000					35	
(flux	riatile Schotter -		808-822		Celestypow			37-	Celes	tynovian-Interval		36	Waal
gem	aßigtes Klima)		~ 950	'n	Celestynow			57-	(warm	temperiertes Klima)		57	vvaai
				reglacjal	Otwock				Otwoo (kühl t	ckian-Interval temperiertes Klima)		58- 64	Eburon
	Eopleistocer	ne		ompleks F	Ponurzyca				Ponur (warm	zycian-Interval n temperiertes Klima)		65- 94	Tegelen
				×	Ró ce		~2.600	104	Ró ci (kühl-	an-Interval boreales Klima)		95- 104	Prätegelen

Tab. 3 Übersicht zur Gliederung des Mittel -und Alt-Pleistozäns von Polen Tab. 3 Comparision of stratigraphical units of Lower-Pleistocene in Poland

Früh-Pleistozän

Das Podlasian/Augustovian-Interglazial wird nach LINDNER et al. (2004) durch das Augustovian 1/2-Stadial (= MIS 24?) in Augustovian 1 (= MIS 25-27?) und Augustovian 2 (= MIS 21-23?) untergliedert. Nach BER (2006) entspricht das Podlasian/Augustovian-Interglazial dem Bavel-Komplex (STREIF et al. 2004).

Das Narew-Glazial entspricht nach LINDNER et al. (2004) den MIS 34-36 und ist wahrscheinlich mit der Pinnau-Kaltzeit (LITT in LITT et al. 2007) und dem Menap-Komplex (STREIF et al. 2004) zu parallelisieren. Die Narew-Vergletscherung erreichte nach LINDNER et al. (2004) um 890 ka BP Mittel-(Kujawien) und SE-Polen (Lublin). Das Celestynovian-Intervall wird nach LINDNER et al. (2004) mit den MIS 37-57 und dem warm temperierten Waal-Komplex (1-1,2 Mio a BP, STREIF et al. 2004) sowie der Tornesch-Warmzeit (LITT in LITT et al. 2007) korreliert. Die Otwockian-Kaltzeit entspricht nach LINDNER et al. (2004) mit seinen kalt temperierten Klimaintervallen den MIS 58-64 und wird mit der Eburon-Kaltzeit (STREIF et al. 2004) bzw. der Lieth-Kaltzeit (LITT in LITT et al. 2007) parallelisiert.

Zusammenfassung

Die Gliederungen des Weichsel-Spätglazials und des Holozäns sind in Norddeutschland und Polen nahezu identisch. In NE-Deutschland wird die Weichsel-Vereisung in drei Hauptphasen und in Polen in vier Hauptphasen mit verschiedenen Subphasen untergliedert. Ein Mittel-Weichsel-Vorstoß im Swecie-Stadial könnte am ehesten mit dem Warnow-Vorstoß in Mecklenburg korreliert werden. Die norddeutsche Zweiteilung des Saale-Hochglazials in Drenthe- und Warthe-Phase wird auch in Polen vorgenommen. Dagegen finden sich in Polen neben den entsprechenden saale-hochglazialen Phasen Odra und Warta im Saale-Frühglazial mit der Krzna und der Liwiec zwei weitere Glaziale, für die es in NE-Deutschland zur Zeit mit Ausnahme eines unsicheren lokalen Befundes für einen "Fuhne"-Till in SW-Mecklenburg keine äquivalente Nachweise gibt.

Die Zweiteilung des Elster-Hochglazials wird in Polen (San 2) nicht vorgenommen. Die als San 1- bezeichnete Vergletscherung ist von der jüngeren San 2-Vergletscherung durch das Ferdynandov-Interglazial getrennt. Für die prä-elsterzeitlichen Vergletscherungen des San 1, Nidanbzw. Narew-Glazials gibt es zur Zeit in NE-Deutschland keine gesicherten Belege.

Summary

In North-Germany and Poland is the division of the Holocene and the substages of the Weichselian Late glacial nearly concordant. In contrast to the division in three main-advances in NE-Germany the main Weichselian-Glaciation at Poland territory is divided in four main phases with several subphases. The Middle Weichselian ice extend of Swecie-Stadial in Poland could probably correlated with the Warnow-ice advance in Mecklenburg-Vorpommern. The Saalian glacial period in NE-Germany is subdivided in two main stages, the Drenthe and the Warthe stage. In Poland in the lower Saalian further glacigenic layers of Krznanian- and Liwiec-glaciation (= "Fuhne-till" in SW-Mecklenburg?) are classified. The equivalent of the Elsterian glacial in Poland is the San 2-glaciation. In contrary to NE-Germany in Poland exists evidences of a Ferdynandov-interglacial period between Sanian 1- and Sanian 2glaciation. For the older glaciations of Sanian 1, Nidanian and Narevian exist no saved equivalent evidences within the Pre-Elsterian in NE-Germany.

Danksagung

Ich danke Frau Dr. Jaqueline Strahl vom Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, Außenstelle Kleinmachnow für die fachlichen Hinweise und die umfangreiche Korrektur des vorliegenden Manuskripts.

Literatur

- BER, A. (2006): Pleistocene interglacials and glaciations of northeastern Poland compared to neighbouring areas. -Quaternary international 149, S. 12-23, Oxford
- BER, A. (2005): Polish Pleistocene stratigraphy A review of interglacial stratotypes. - Netherlands journal of Geoscience / Geologie en Mijnbouw 84 (2), S. 61-76, Utrecht
- Ber, A., LINDNER, L. & L. MARKS (2005): Propozycja nowego stratygraficznego Czwartorzędu Polski. - Tagungsband "XII. Konferencja stratigrafia pleistocenu polski" in Zwierzyniec, S. 26-27, PIG, Warszawa
- BOGUCKY, A., ŁANZONT, M., & J. WOJTANOWICZ (2004): Nowe Dane do Schematu Stratigrafii dwóch Jednostek Zimnich
 Poprzedzającej i Zamykającej Interglacjał Mazowiecki. -Tagungsband "XI. Konferencja Stratigrafia Pleistocenu Polski" in Suprasł, S. 24-25, PIG, Warszawa
- BRAUER, A., ENDRES, CH., & J. F. W. NEGENDANK (1999): Lateglacial calendar year chronology based on annually laminated sediments from Lake Meerfelder Maar, Germany. - Quaternary International 61, S. 17-25, Oxford
- BüLow, W. v. (Hrsg.) (2000): Geologische Entwicklung Südwest-Mecklenburgs seit dem Ober-Oligozän. - Schriftenreihe für Geowissenschaften 11, S. 355-364, Berlin, Verlag der Gesellschaft für Geowissenschaften e. V., Berlin
- CASPERS G., JORDAN, H., MERKT, J., MEYER, K.-D., MÜLLER, H. & H. STREIF (1995): Niedersachsen. - In: BENDA, L. (Hrsg.): Das Quartär Deutschlands. - S. 34-37, Berlin
- Серек, A. G. & L. LIPPSTREU (1999): Die Lithofazieskarten Quartär 1 : 50 000 (LKQ 50) – eine Erläuterung des Kartenkonzeptes mit Hinweisen für den Gebrauch. - Brandenburg. geowiss. Beitr. **6**, 2, S. 3-38, Kleinmachnow
- DSK DEUTSCHE STRATIGRAPHISCHE KOMMISSION (Hrsg.) (2002): Stratigraphische Tabelle von Deutschland. - 1. Aufl., Potsdam, Frankfurt a. M.
- EISSMANN, L. (1975): Das Quartär der Leipziger Tieflandsbucht und angrenzender Gebiete um Saale und Elbe. -Schriftenreihe Geol. Wiss. 2, S. 1-263, Berlin
- GEYH, M. A. & H. MÜLLER (2005): Numerical 230Th/U dating and palynological review of the Holsteinian/Hoxnian Interglacial. - Quaternary Science Reviews 24, S. 1861-1872, Amsterdam
- HALICKI, B. (1960): The problem of the Mazurian interstadial period. - Zbiór Prac i Komunikatów Treści Geologicznej 1, S. 97-123, Warszawa

HESS VON WICHDORFF, H. (1916): Das Masurische Interstadial. - Jb. Preuß. Geol. Landesanstalt 35, S. 298-353, Berlin

- HERMSDORF, N. (1995): Zur pleistozänen Schichtenfolge des Teltow-Plateaus. - Brandenburg. geowiss. Beitr. 2, 1, S. 27-37, Kleinmachnow
- HERMSDORF, N. & J. STRAHL (2006): Zum Problem der so genannten Uecker-Warmzeit (Intra-Saale) Untersuchungen an neuen Bohrkernen aus dem Raum Prenzlau.
 Brandenburg. geowiss. Beitr. 13,1/2, S 49-61, Kleinmachnow
- KACPRZAK, L., LISICKI, S. & H. WINTER (2002): Stratigraphical position of the Czarnucha, the Cisów and the Domuraty sections of the Middle and Lower Pleistocene, NE Poland. - INQUA field symposium on Quaternary geology and geodynamics in Belarus, abstract, S. 19-21, Minsk
- KRIENKE, H.-D., STRAHL, J., KOSSLER, A. & H. U. THIEKE (2006): Stratigraphie und Lagerungsverhältnisse einer quasi vollständigen weichselzeitlichen Schichtenfolge im Bereich des Deponiestandortes Grimmen (Mecklenburg-Vorpommern). - Brandenburg. geowiss. Beitr. 13, 1/2, S. 133-154, Kleinmachnow
- KÜHNER, R. (2003): Ausbildung und Gliederung des saalezeitlichen Sedimentkomplexes im Bereich der Hornoer Hochfläche. - Brandenburg. geowiss. Beitr. 10, 1/2, S. 111-121, Kleinmachnow
- ŁANCZONT, M. & J. WOJTANOWICZ (1999): Lithostratigraphy of loesses and silty sediments in the Western Roztocze, southeastern Poland. Geological Quarterly 43, 1, S 19-26, Warszawa
- ŁANCZONT, M. & J. WOJTANOWICZ (2005): Lessy Warciańskie Między Wisłą a Dniestrem. - Tagungsband "XII. Konferencja stratigrafia pleistocenu polski" in Zwierzyniec, PIG, S. 17-19, Warszawa
- LINDNER, L. & L. MARKS (1995): Correlation of glacial episodes of the Wisła (Vistulian) Glaciation in the polish lowland and mountain regions, and in Scandinavia. - Bul. academy of sciences **43** (1), S 5- 15, Warszawa
- LINDNER, L., GOZHIK, P., MARCINIAK, B., MARKS, L., MARCI-NIAK, B. & Y. YELOVICHEVA (2004): Main climatic changes in the Quaternary of Poland, Belarus and Ukraine. - Geological Quarterly **48**, 2, S 97-114, Warszawa
- LINDNER, L. (2004): Główne Poziomy Stratigraficzne w Pleistocenie Polesia Wołyńskiego (NW Ukraina). - Tagungsband "XI. Konferencja Stratigrafia Pleistocenu Polski in Supraśl", Polish Geological Institute, S. 51-53, Warszawa

- LINDNER, L. (2005): A new look at the number of the Middle Polish Glaciations in the southern part of central-eastern Poland. - Przegląd Geologiczny **53** (2), S. 145-150, Warszawa
- LINDNER, L., BOGUCKY, A., CHLEBOWSKI, R., JEŁOWICZEWA, J., WOJTANOWICZ, J. & I. ZALESSKIJ (2005): Główne Poziomy Stratigraficzne w Pleistocenie Polesia Wołyńskiego (NW Ukraina). - Tagungsband "XI. Konferencja Stratigrafia Pleistocenu Polski in Zwierzyniec", Polish Geological Institute, S. 51-53, Warszawa
- LIPPSTREU, L. (1999): Die Gliederung des Pleistozäns in Brandenburg (Stand 2006). - Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg, Kleinmachnow
- LIPPSTREU, L., BROSE, F. & J. MARCINEK (1995): Brandenburg - Stratigraphische Abfolge und Schichtenfolge. - In: Benda, L. (Hrsg.): Das Quartär Deutschlands. - S 119-147, Berlin
- LISICKI, S. & H. WINTER (1999): Mrongovian and Brokian, new stratigraphic units of the Middle Pleistocene in northeastern Poland. - Geological Quarterly **48**, 2, S 97-114, Warszawa
- LITT, T. (1992): Zum Problem intrasaalezeitlicher Interglaziale. - In: BILLWITZ, K. (Hrsg.): Jungquartäre Landschaftsräume. - S. 92-94, Berlin
- LITT, T. (2007): Das Quartär als chronostratigraphische Einheit. - In: LITT, T. (Hrsg.): Stratigraphie von Deutschland – Quartär. - Eiszeitalter und Gegenwart, Quaternary science journal 56, 1/2, S. 3-6, Hannover
- LITT, T. & C. TURNER (1993): Arbeitsergebnisse der Subkommission für Europäische Quartärstratigraphie: Die Saalesequenz in der Typusregion (Berichte der SEQS 10).
 Eiszeitalter u. Gegenwart 43, S. 125-128, Hannover
- LITT, T., BEHRE, K.-E., MEYER, K.-D., STEPHAN, H.-J. & S. WANSA (2007): Stratigraphische Begriffe für das Quartär des norrdeutschen Vereisungsgebietes. - In: LITT, T (Hrsg.): Stratigraphie von Deutschland – Quartär. - Eiszeitalter und Gegenwart, Quaternary science journal **56**, 1/2, S. 7-65, Hannover
- LUNG M-V (Hrsg.) (2001): Stratigraphische Tabelle Mecklenburg-Vorpommern. - Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, Güstrow

MARKS, L. (2005): Pleistocene glacial limits in the territory of Poland. - In: Przegląd Geologiczny, vol. **53**, 10/2. - Polish Geological Institut, S. 988-993, Warszawa

MOJSKI, J. E. (1991): The main Vistulian glacial events in Northern Poland. - In: FRENZEL, B. (Hrsg.) Paläoklimaforschung 1 - Klimageschichtliche Probleme der letzten 130 000 Jahre. - S. 353-361, Stuttgart

- MOJSKI, J. E. (1995): Pleistocene glacial events in Poland. -In: EHLERS, J., KOZARSKI, S, & P. GIBBARD (Hrsg.): Glacial deposits in North-East Europe. - S. 287-292, Rotterdam
- Mojski, J. E. (1999): Drobne jebostki stratygraficzne piętra Wisły w obszarze perybałckim. - Przegląd Geologiczny 47, 3, S. 247-254, Warszawa
- Mojski, J. E. (2005): Ziemie Polskie w Cwartorzędzie. 404 S., Warszawa
- MÜLLER, U. (2004): Alt- und Mittel-Pleistozän; Jung-Pleistozän – Eem-Warmzeit bis Weichsel-Hochglazial. - In: KATZUNG, G. (Hrsg.): Geologie von Mecklenburg-Vorpommern. - S. 226-242, Stuttgart
- Müller, U. (2004a): Weichsel-Frühglazial in Nordwest-Mecklenburg. - Meyniana 56, S. 81-115, Kiel
- MÜLLER, U., RÜHBERG, N., & H.-D. KRIENKE (1993): Stand und Probleme der Pleistozänforschung in Mecklenburg-Vorpommern. - Tagungsband nordwestdeutscher Geologen in Klein Labenz, S. 6-20, Kiel
- NowACZYK, B. (1995): The age of dunes in Poland selected problems. - Quaestiones Geographicae - Special Issue **4**, S. 233-239, Poznań
- PIOTROWSKI, A. (2003): Aufschlüsse Chlewice, Porzeczne. - In: SCHROEDER, J. H. (Hrsg.): Führer zur Geologie von Berlin und Brandenburg – Oderbruch - Märkische Schweiz - Östlicher Barnim, Nr. 9, S. 215-222, Berlin
- RÜHBERG, N., SCHULZ, W., BÜLOW, W. V., MÜLLER, U. & H.-D. KRIENKE (1995): Brandenburg – Stratigraphische Abfolge und Schichtenfolge. - In: BENDA, L. (Hrsg.): Das Quartär Deutschlands. - S. 119- 147, Berlin
- STANKOWSKI, W. (2001): The Quarternary stratigraphy correlation of Great Poland Lowland and Central Germany in the light of glacials, interglacials and ice covers/glaciations taxonomy. - Z. geol. Wiss. 29, 12, S. 93-98, Berlin
- STRAHL, U. (2004): Jung-Pleistozän Eem-Warmzeit bis Weichsel-Hochglazial. - In: KATZUNG, G. (Hrsg.): Geologie von Mecklenburg-Vorpommern. - S. 226-242, Stuttgart
- STRAHL, J. (2005): Zur Pollenstratigraphie des Weichselglazials von Berlin-Brandenburg. - Brandenburg. geowiss. Beitr. 12, 1/2, S. 87-112, Kleinmachnow
- STREIF, H., CASPERS, G., FREUND, H., GEYH, M. A., KLEIN-MANN, A., MERKT, J., MEYER, K.-D., MÜLLER, H., ROHDE, P., & C. SCHWARZ (2004): Das Quartär in Niedersachsen

– Gliederung, geologische Prozesse, Ablagerungen und Landschaftsformen. - Tabelle, Hannover

- UNGER, K. P. & R. D. KAHLKE (1995) Thüringen. In: BEN-DA, L. (Hrsg): Das Quartär Deutschlands. - S. 199-219, Berlin
- Wysota, W. (2002): Stratigrafia i Środowiska Sedimentacji Zlodowacenia Wisły w Południowej Części Dolnego Powiśla. - Habilschrift Universytet Nikołaja-Kopernika, S. 1-143, Toruń

Anschrift des Autors: Dr. Andreas Börner Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern Geologischer Dienst Goldberger Straße 12 18273 Güstrow

Die Pollendatenbank (POLLDAB) des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR)

The Pollen data base (POLLDAB) of the State Office for Mining, Geology and Natural Resources Brandenburg

JAQUELINE STRAHL

1. Einleitung

Mit der Gründung des Landesamtes für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg, heute Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, wurde für die Geologische Landesaufnahme die Pollenanalyse als einzige praxisrelevante biostratigraphische Methode zur relativen Altersdatierung von quartären Sedimenten installiert. Sie bildet die Stratifizierungsgrundlage für die Kartierung der an anderen Fossilien armen und damit zeitlich schwer bestimmbaren quartären Sedimente Brandenburgs.

Die Pollenanalyse ist im Gegensatz zu den meisten mikropaläontologischen Untersuchungsmethoden in der Lage, unter vergleichsweise geringem zeitlichen und finanziellen Aufwand sowohl vegetations- und klimageschichtliche als auch biostratigraphische Aussagen von hoher Genauigkeit zu treffen. Sie stellt u. a. das Grundgerüst für die Eichung absoluter Altersdatierungen (z. B. Radiocarbon- oder Uran-Thorium-Methode) sowie von malakologischen, großrestund diatomeenanalytischen Untersuchungen dar.

Die Ergebnisse der pollenanalytischen Untersuchungen sind unverzichtbarer Bestandteil der quartärgeologischen Kartierung und fließen damit ebenso in die Hydro-, Bodenund Rohstoffgeologie ein.

Im Jahr 2001 wurde der Grundstein für die Pollendatenbank des Landesamtes gelegt, in die zunächst alle aktuellen und nachfolgend alle Bearbeitungen ab 1991 aufgenommen wurden. Mit dem Abschluss der Dateneinpflege wurde neben der ständigen Laufendhaltung die Aufnahme sogenannter Altdaten, erhoben vor allem in den 1970er und 1980er Jahren durch das Zentrale Geologische Institut (ZGI) der DDR sowie durch das Kombinat für Geologische Forschung und Erkundung (GFE, Betriebsteile Freiberg und Halle), begonnen. Als Grundlage dafür dient eine weitere, die sogenannte Pollenberichtsdatenbank, in die alle im Archiv dokumentierten pollenanalytischen Bearbeitungen von derzeit 1798 Bohrungen und Aufschlüssen Eingang fanden. Des Weiteren wurde eine Datenbank zur am LBGR existierenden umfangreichen und ständig in Erweiterung befindlichen Vergleichssammlung rezenter Pollen und Sporen aufgebaut, die unverzichtbare Arbeitsgrundlage für die Pollenanalyse ist. Diese Teilsammlung ist bereits vollständig mit derzeit 8998 Präparaten der Gruppen Monocotyledonae, Dicotyledonae, Gymnospermae, Pteridophyta, Bryophyta und Fungi erfasst. Der Hauptteil der Pollen- und Sporensammlung stammt aus Deutschland, weitere Teile aus Skandinavien, Grönland, Island und den USA.

Die Pollendatenbank des LBGR fungiert sowohl als Analysendatenbank mit aufschluss- und probenbezogenen Daten (s. ff.) als auch als Sammlungsdatenbank, der Informationen zu den in der Palynologischen Sammlung des LBGR vorhandenen Beständen entnommen werden können. Der Gesamtbestand an palynologischen Präparaten, die als Beleg- bzw. als für weitere Bearbeitungen zur Verfügung stehende Verdichtungsproben in die Palynologische Sammlung eingestellt sind, beläuft sich auf geschätzt 165 500 Präparate. Der Schätzwert bezieht sich dabei auf die Festpräparatesammlung, die im wesentlichen Proben aus der Zeit vor 1991 enthält und derzeit erst in der Erfassung befindlich ist (Eingabestand 1416 Proben). Vollständig erfasst sind hingegen die seit 1999 Verwendung findenden Flüssigpräparate mit derzeit 6025 Stück und sämtliche Festpräparate der Vergleichssammlung mit 8998 Stück.

2. Aufbau der Pollendatenbank (POLLDAB)

Die Pollendatenbank enthält derzeit Informationen zu 8558 Proben aus 681 Bohrungen und Aufschlüssen. Das in Abbildung 1 aufgeführte Beispieldatenblatt zeigt die Aufteilung der Informationen in die aufschluss- bzw. bohrungs- und die probenbezogenen Daten sowie das jeweilige Analyseergebnis der untersuchten Probe.

2.1 Aufschluß- bzw. bohrungsbezogene Daten

Diese Daten, auch als Kopfdaten bezeichnet, liefern Informationen zum untersuchten Aufschluss bzw. zur untersuchten Bohrung mit den Feldern:

- AUFSCHLUSS: Name des untersuchten Aufschlusses bzw. der Bohrung, wobei neben dem Vollnamen der in der Geodatenbank des LBGR (GeoDab) verwendete Kurzname in Klammern dahinter aufgeführt wird.
- RECHTS und HOCH: Der über den Rechts- und Hochwert (x- und y-Koordinate) festgelegte Lagepunkt des Aufschlusses bzw. der Bohrung.
- NETZ: Das zugrunde gelegte Koordinatensystem, wobei hier zwischen den Koordinatensystemen Gauss-Krüger-Bessel für die Streifen 4 (GK-B_4, derzeit in der GeoDab verwendet) und 5 (GK-B_5), ETRS 89 UTM (UTM, amtliches Koordinatensystem für topographische Karten des Landesbetriebes für Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg) sowie Gauss-Krüger-Krassowski (Krassowski) gewählt werden kann.
- TK 25: Blattnummer der topographischen Karte 1:25 000, auf der der Aufschluss bzw. die Bohrung liegt.
- ARCHIV NR: Nummer des Berichtes, unter der die Untersuchungsergebnisse im Archiv hinter-

gelegt sind. Ein durch das Archiv erzeugtes PDF-Dokument des Berichtes wird unter der entsprechenden GA-Identnummer (s. ff.) in der GeoDab hinterlegt.

- BERICHTS-DATUM: Erstellungsdatum des jeweiligen Berichtes.
- GA-IDENT: Eineindeutige Identifikationsmummer des Geologischen Aufschlusses (GA) in der GeoDab. Die ersten vier Ziffern kennzeichnen dabei die jeweilige Blattnummer der TK 1 : 25 000, auf dem der Geologische Aufschluß liegt. Die GA-Identnummer stellt zukünftig den Schlüssel für die Verknüpfung der POLLDAB mit der GeoDab dar, von der aus dann direkt auf die Analyseergebnisse zugegriffen werden kann.

2.2 Probenbezogene Daten

Unter dieser Rubrik sind alle Informationen enthalten, die zur Kennzeichnung einer untersuchten Probe relevant sind:

• PR_IDENT: Eineindeutige Identifikationsnummer der Probe, d. h., die Identifikationsnummer kann

Datei Bearbeiten Ansicht Einfü	ormular) Igen Forma <u>t</u> Daten <u>s</u> ätze E <u>x</u> tr	as <u>F</u> enster <u>?</u>		Frage hier eingeben	7
		1 (A)> > 0 0	o+1@ Ę		
AUFSCHLUSS Bärenklau	BR 04/2000 (Hy BäGu 4/2000)		D.O.I	I D A	6 1
RECHTS 5471938,0 HOCH	5756853,0 NETZ	GK-B_5 • TK 25	4053 POL	LUA	D _
ARCHIV NR. 1006483 LBGF	BERICHTS-DAT 2	0.09.2002 GA_IC	DENT 405300717		
P_IDENT: 100042733	NAP Sumpf- und Wasserpfl	anzen Algen Sichere Umlagerung	en		
OT: 66	1				
UT: 66.3	Juniperus sp:	1 Viscum sp:	0	+*	
14. I	Hippophaë rhamnoid	0 llex sp:	0		
	Salix sp:	4 Ligustrum sp:	0		_
JH:	Populus sp:	0 Buxus sp:		1	-
and: BRD/Brandenburg	Betula sp:	6 Vitis sp:	0	+	
3EZ: 5	Betula nana Typ:	U Acer sp:			
ABNR: P 71984	Pinus sp:	49 Hhamnaceae:			
colority Il detain Internet anist I	Ulmus sp:	1 Frangula alnus:		1	
	Quercus sp:	4 Fagus sp:	0		_
sarb_Dat: 13.11.2001	Corylus sp:	6 Lanx sp:	1	++	
earbeiter Strahl	Alnus sp:	20 Celtis sp:	1		
ventar_Nr 2045	Alnus viridis:	0 Pterocarya sp:	11		
andort S4a/GK2/KK2/B1/E	Tilia sp:	1 Humulus lupulus:		-	_
	Taxus sp:	3 Juglans sp:		Tres	
ediment Schluff	Fraxinus sp:	0 Juglandaceae:		111	_
	Carpinus sp:	48 Sonstige 1:	U		
	Picea sp:	14		+	
	Abies sp:	51		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	_
	Hadara an:	0			

Abb. 1 Beispieldatenblatt aus der POLLDAB des LBGR

Fig. 1 Example for data sheet of the LBGR POLLDAB

wie die GA-Identnummer nur einmal vergeben werden, eine Verwechslung der Probe bzw. eines Aufschlusses ist damit nicht möglich.

- POT und PUT: Gibt den Teufenbereich, aus dem die Probe aus einer Bohrung entnommen wurde in m von bis an.
- POH und PUH: Gibt mit oberer und unterer Aufschlusshöhe an, aus welchem Bereich eine Probe aus einem übertägigen Aufschluss entnommen wurde.
- Land: Angabe des Staates und des Bundeslandes, aus dem die Probe stammt.
- PBEZ: Probennummer, die durch den Einsender der Probe vergeben wird.
- LABNR: Nummer, die durch das aufbereitende Labor vergeben wird (laborspezifisch).
- Biostrat: Kennzeichnet die relative Altersteinstufung der Probe auf Grundlage des nebenstehenden Analysenergebnisses.
- Bearb_Dat: Gibt das Datum der pollenanalytischen Untersuchung der Probe an.
- Bearbeiter: Benennt den Bearbeiter der Probe.
- Inventar_Nr: Benennt die Inventarnummer einer Probe, die Eingang in die Palynologische Sammlung findet. Davon ausgenommen sind beispielsweise Proben, die aufgrund fehlender Pollen- und Sporenführung oder zu schlechter Erhaltung nicht in die Sammlung eingestellt werden, hier erfolgt eine Leerangabe im Feld.
- Standort: Charakterisiert den Standort, den eine Probe in der Palynologischen Sammlung einnimmt
- Sediment: Nennt die Sedimentart, die untersucht wurde.

Der Analyseteil des Datenblattes (Abb. 1) unterteilt die ermittelte Pollen- und Sporenflora in die Gruppen:

- AP: Umfasst die Gruppe der arboreal pollen oder Baumpollen.
- NAP: Umfasst die Gruppe der nonarboreal pollen oder Nichtbaumpollen.
- Sumpf- und Wasserpflanzen: Umfasst die Pollen der standorteigenen Vegetation sowie Sporen von Farnen und Moosen
- Sichere Umlagerungen: Enthält alle Pollen und Sporen, die ursprünglich aus dem Neogen bzw. älteren Systemen stammen.

3. Die Pollenberichtsdatenbank

Die Pollenberichtsdatenbank dient zum einen, wie oben angeführt, als Ausgangsbasis bei der Einpflege von Altdaten in die POLLDAB. Des Weiteren ist sie aber vor allem ein Medium für die messtischblattgenaue Schnellrecherche sämtlicher **in Berichten dokumentierter** pollenanalytischer Bearbeitungen für die Geologische Landesaufnahme (hier speziell für die Quartär-, Hydro- und Bodengeologie). Neben den für das Gebiet Berlin und Brandenburgs derzeit vorliegenden 933 Untersuchungen (Abb. 2), sind hier außerdem Informationen zu Bohrungen und Aufschlüssen (überwiegend Altdaten) aus den Bundesländern Mecklenburg-Vorpommern (370), Sachsen-Anhalt (230), Sachsen (180), Thüringen (77), Niedersachsen (9), Schleswig-Holstein (4) und Bremen (1) recherchierbar.

Abbildung 2 zeigt die anzahlmäßige Verteilung von durch Pollenanalysen stratifizierten Bohrungen in Berlin und Brandenburg. Von den 230 (ohne Berlin), durch die Geologische Landesaufnahme zu betreuenden TK bzw. GK 1:25 000 sind 52 Blätter gar nicht und 123 Blätter mit weniger als fünf Bohrungen (meist nur eine Bohrung) durch biostratigraphische Untersuchungen qualifiziert. Die hohen Fehlstellen lassen sich zum einen erklären durch die Situierung der Blätter in ehemaligen bzw. heute z. T. noch genutzten militärischen Sperrgebieten (u. a. Schwerpunkte im Landkreis Teltow-Fläming), die von der Geologischen Kartierung ausgenommen waren und sind. Zum anderen hing und hängt der Untersuchungstand mit der objektbezogenen Landesuntersuchung im Rahmen hydrogeologischer Bohrprogramme (u. a. Konzentration von Fundpunkten im Süden von Berlin, Grundwasservorkommen im Bereich des Berliner Elbelaufs) und der Rohstofferkundung (insbesondere auf Braunkohle in der Lausitz, Kieselgur, Steine und Erden) zusammen.

4. Fazit

Aufgrund des Konzeptes der Landesregierung, die wirtschaftliche Förderung auf ausgewählte Wachstumsstandorte Brandenburgs bzw. die Metropolenregion zu konzentrieren, wird sich auch die Notwendigkeit der geologischen Erkundung zur Daseinsvorsorge auf diese Gebiete fokussieren müssen. D. h., Gebiete ohne Wirtschaftsförderung werden keine oder nur eine unbedeutende Erweiterung des geologischen Kenntnisstandes erfahren. Ausgenommen davon bleiben müssen jedoch, z. B. in Schadensfällen, aus Sicht der Geologischen Landesaufnahme wichtige Bereiche, wie etwa die Erkundung des Grundwasserverhaltens im Bereich von Wasserwerken und die Erkundung des Untergrundes gefährdeter Deponiestandorte.

Die Pollenanalyse trägt dabei in erster Linie zur Qualifizierung der erhobenen und bereits existierenden quartärgeologischen Daten für die Erstellung der verschiedenmaßstäblichen geologischen Kartenwerke bei, die wiederum Ausgangsbasis für den angewandten Bereich sind. So beispielsweise für das Grundwassermonitoring auf Grundlage hydrogeologischer Modelle, die auf eine Stratifizierung des Haupt- (HGWL) und des 1. Grundwasserleiters (GWL) angewiesen sind. Als Beispiel für eine Stratifizierung ohne entsprechende Methode der Altersdatierung seien hier die z. T. fehlerhaft interpretierten Bohrungen für das Wasserwerk Rathenow angeführt. Mögliche nachfolgende Grundwassermodellierungen führen hier wegen der teilweise falschen Ausweisung eemzeitlicher (1. GWL) als saalefrühglaziale Sedimente (HGWL) zu wiederum fehlerhaften Prognosen, da dabei notgedrungen von falschen Kennwerten ausgegangen wird.

											-	2448 Strasburg	2449 Pasewalk					
											2547 Woldeak	(Uckermärk) 2548 Lammarsdorf	2549 Trahenow	2550 Briterow	2551			
	2637	2638	2639	2640	+					2646	1899 2647	1899 2648	1897 2649	1897 2650	2651	2652		
2736	Marnitz	Stepenitz	Meyenbur 1922	g Fincken					-	Feldberg	Fürstenwerder 1893	Dedelow	Prenzlau 1897	Carmzow	Storkow 1897	Nadrensee		
2735 Dallmin Grabow 1905 1905	2737 Berge 1905	2738 Putlitz	2739 Gerdshager	2740 Freyenstein 1922	2741 Wredenhager	2742 Mirow	2743 Wesenberg	2744 Wesenberg- Ahrensberg	2745 Lychen	2746 Beenz	2747 Boitzenburg	2748 Haßleben	2749 Potzlow 1897	2750 Gramzow	2751 Penkun	2752 Gartz (Oder) 1898		
2833 2834 2835 2836 Dömitz Gorlösen Boberow Karstädt	2837 Baek	2838 Wolfshagen	2839 Pritzwalk	2840 Wittstock/ Dosse	2841 Dossow	2842 Flecken Zechlin	2843 Rheinsberg	2844 Fürstenberg/ Havel	2845 Bredereiche	2846 Gandenitz	2847 Templin	2848 Gerswalde	2849 Warnitz	2850 Passow	2851 Groß Pinnow	2852 Friedrichsthal		
2933 2934 2935 2936 Gusborn Lenzen Schnackenburg Wittenberge N	2937 Perleberg	2938 Lindenberg	2939 Vehlow	1899 2940 Blumentha	1917 2941 Rägelin	1917 2942 Neuruppin Güblen-	1917 2943 Rheinsberg S	1906 2944 Gransee	1906 2945 Mildenberg	1903 2946 Hammelspring	1893 2947 Vietmannsdorf	1893 2948 Friedrichswalde	2949 Greiffenberg	1899 2950 Angermünde	1899 2951 Schwedt/Oder	1898 2952 Ognica		
1904 1901 4901	1901 3037	3038	3039	1899 3040	1922 3041	Glienicke 1918 3042	1917 3043	1917 3044	1906 3045	1903 3046	1893 3047	1893 3048	1899 3049	1936 3050	1936 3051	1900		
Wittenberge 1960	Bad Wilsnack	Glöwen 1895	Demerthin 1895	Kyritz 1899	Lögow 1899	Neuruppin 1899	Lindow (Mark 1884	Großmutz 1885	Klein-Mutz 1885	Zehdenick 1891	Groß Schönebeck 1891	Joachimsthal	Chorin 1914	Lunow 1899	Czachow 1899	_		
1	Werben (Elbe) 1895 1	Havelberg	Breddin 1895	Neustadt Dosse 1899	Wildberg	Fehrbellin 1899	Wustrau- Altfriesack 1883	Löwenberg	Nassenheide	Liebenwalde	Zerpen- Schleuse 1891	Eberswalde	Falkenberg (Mark) 1899	Oderberg 1899	Cedynia			
	1	3238 Sandau (Elbe) 883	3239 Warnau 1888	3240 Rhinow	3241 Friesack	3242 Königshorst	3243 Linum 1875	3244 Kremmen	3245 Oranienburg	3246 Wandlitz	3247 Biesenthal	3248 Melchow	3249 Heckelberg	3250 Bad Freien walde (Oder) 1908	3251 Neulewin 1908	3252 Ortwig 1908		
		3338 Arneburg	3339 Schollene	3340 Rathenow	3341 Nennhausen	3342 Paulinenaue	3343 Nauen	3344 Bötzow	3345 Henningsdorf	3346 Berlin- Buchholz	3347 Bernau	3348 Werneuchen	3349 Prötzel	3350 Reichenow	3351 Neutrebbin	3352 Letschin	3353 Genschmar	
	11	3438 Jerichow	3439 Milow	1888 3440 Premnitz	1888 3441 Garlitz	1884 3442 Tremmen	1938 3443 Wustermark	3444 Falkensee	1921 3445 Berlin-	1937 3446 Berlin-	1885 3447 Berlin-	1882 3448 Altlandsberg	1895 3449 Strausberg	1895 3450 Müncheberg	3451 Neuharden-	1908 3452 Seelow	3453 Küstrin-Kietz	
	18	889 1	3539 Schlagenthin	1888 3540 Pritzerbe	1888 3541 Brandenhurn	1884 3542 Groß Kreutz	1875 3543 Ketzin	1878 3544 Potsdam N	1910 3545 Berlin-	1937 3546 Bedin-	1937 3547 Berlin-	1882 3548 Rüdersdorf b	1895 3549 Herzfelde	1895 3550 Beerfelde	1908 3551 Heinersdorf	1929 3552 Alt Zeschdorf	1929 3553	
		_1	3639	1891 3640	a.d.Havel 1891 3641	1891 3642	1882 3643	1882 3644	Zehlendorf 1910 3645	Neukölln 1937	Köpenick 1937 3647	Berlin 1922 3648	1918 3649	1918 3650	3651	3652	1929	
		1	Karow 891	Wusterwitz 1891	Brandenburg a.d.Havel-Göttin 1891	Lehnin 1891	Werder (Havel) 1882	Potsdam	Großbeeren 1882	3646 Blankenfelde 1878	Zeuthen 1878	Wernsdorf	Spreenhagen	Fürstenwalde/ Spree 1918	Briesen (Mark) 1927	Jacobsdorf	Frankfurt (Oder) 1929	
		1	Ziesar 891	3740 Wollin 1891	3/41 Golzow 1891	3742 Damelang- Freienthal 1891	3743 Beelitz 1882	3744 Wildenbruch 1882	3745 Trebbin 1878	3746 Zossen 1882	3747 Königs Wusterhausen 1883	3748 Friedersdorf 1883	3749 Storkow 1921	3750 Bad Saarow- Pieskow 1927	3751 Groß Rietz 1927	3752 Müllrose	3753 Brieskow- Finkenheerd 1961	3754 Aurith 1961
		1	3839 Reppinchen	3840 Görzke	3841 Belzig	3842 Brück	3843 Wittbrietzen	3844 Hennickendorf	3845 Woltersdorf	3846 Wünsdorf	3847 Teupitz	3848 Märkisch Buchholz	3849 Alt-Schadow	3850 Kossenblatt	3851 Beeskow	3852 Grunow	3853 Eisenhütten- stadt	3854 Eisenhütten- stadt Ost
Aktuelle Nr. der T	K 25	1	3939 Nedlitz	3940 Medewitz	3941 Rädigke	3942 Niemegk	3943 Treuenbrietzen	3944 Kloster Zinna	3945 Luckenwalde	3946 Paplitz	3947 Baruth (Mark)	3948 Oderin	3949 Schlepzig	3950 Groß Leuthen	3951 Trebatsch	3952 Groß Muckrow	3953 Neuzelle	3954 Wellmitz
Beizig 1906 1906 Beizig Herausgabejahr o Ietzten (jüngsten)	(Stand 19 der jeweil Auflage	995) <u>1</u> 6 s	908	1906	4041 Straach	4042 Zahna	4043 Blönsdorf	4044 Jüterbog	4045 Markendorf	 4046 Petkus	4047 Golßen	4048 Schönwalde	4049 Lübben/	4050 Straupitz	4051	4052	4053 Pinnow	1929 4054 Guben
			• •	_	913 1	960		4144	4145	4146	4147	4148	Spreewald 1923 4149	1923 4150	4151	4152	4153	1929 4154 Jasienice
Anzahl pollenanalytis und Aufschlüsse je B	ch un latt Th	tersu (25	chter	Bohru	ungen		-	2001	Schonewalde	Uahme	Uckro	Luckau	Spreewald 1923	Burg/ Spreewald 1923	Werben 1929	Peitz	Groß Gastrose	4054
0							_	4244 Annaburg	Kolochau	4240 Schlieben	Walddrehna	4240 Crinitz	4249 Calau 1929	4250 Vetschau 1929	4251 Cottbus W 1919	4252 Cottbus O 1919	4255 Forst (Lausitz)	4254 Brody
< 5								4344 Züllsdorf	4345 Herzberg/ Elster	4346 Schilda	4347 Doberlug- Kirchhain	4348 Finsterwalde	4349 Göllnitz 1908	4350 Altdöbern 1908	4351 Drebkau 1924	4352 Sellessen 1919	4353 Döbbern 1928	4354 Forst (Lausitz) Gr. Bademeusel 1928
								4444 Torgau	4445 Falkenberg/ Elster	4446 Bad Liebenwerda	4447 Rückersdorf	4448 Lauchhammer- Grünewalde	4449 Senftenberg West	4450 Senftenberg	4451 Welzow	4452 Spremberg	4453 Weißwasser	4454 Bad Muskau
								930	1956 4545 Mühlberg/	4546 Gröditz	4547 Elsterwerda	1926 4548 Lauchhammer	1923 4549 Schwarzheide	1923 4550 Lauta	1924 4551 Hoyerswerd	4552 Weißkollm	1928	1928
≥10								_	1955 4645 Bio	4646	1927 4647	1926 4648	1927 4649	1924 4650	1924		+	
≥ 20									Kiesa 1927	2eiinain 1929	Hirschfeld 1886	Ortrand 1896	1887	1892				

Anzahl pollenanalytisch untersuchter Bohrungen und Aufschlüsse vor 1991 (vor allem 70er und 80er Jahre): **566** nach 1991: **367**

Abb. 2

Anzahlmäßige und räumliche Verteilung der durch Pollenanalysen stratifizierten Bohrungen und Aufschlüsse auf den TK 25 für die Länder Berlin und Brandenburg

Fig. 2

Number and spatial distribution of bore holes and outcrops at topographic maps of the Berlin-Brandenburg area, scale 1:25 000 investigated by pollen analysis

Letztendlich hängt also die Qualität der geologischen Kartenwerke für das Land Brandenburg und damit die Qualität der darauf basierenden hydrogeologischen Modellierungen, Altlastenuntersuchgen u. a. von der ihnen zugrunde gelegten geologischen Datenbasis ab. Diese weist jedoch eine sehr heterogene Struktur bezüglich des Alters der Daten [vgl. Abb. 2, Alter der Geologischen Karten 1 : 25 000 (GK 25)], der Datendichte und -verteilung sowie des Grads der Qualifizierung durch kartierbegleitende Untersuchungen, wie die Pollenanalyse (vgl. Abb. 2) auf. Allein auf das Gebiet südlich von Berlin entfallen 40 der insgesamt 52 in Brandenburg nicht oder nur unvollständig für die GK 25 kartierten Blätter. Hier muss sich die Geologische Landesaufnahme in der Pflicht sehen, eine gesicherte, für Wirtschaft und Politik nutzbare Datengrundlage zu schaffen.

Dazu gehört auch die Nutzbarmachung von Daten durch Datenbanken, die, soweit es sich um nicht sensible Daten handelt, auch für externe Nutzer zugänglich sein müssen. Einen Anfang bietet das Geologieportal des LBGR, das in Zukunft um den Zugang zur POLLDAB des LBGR erweitert werden soll.

Zusammenfassung

Seit dem Jahr 2001 verfügt das LBGR über eine Pollendatenbank (POLLDAB), die derzeit stratigraphische Informationen zu 681 Bohrungen und Aufschlüssen vorwiegend Berlin und Brandenburgs enthält. Die Einpflege von Altdaten (vor 1991 erhoben) erfolgt auf Grundlage einer Pollenberichtsdatenbank, die die messtischblatt-genaue Schnellrecherche von derzeit 1798 Bohrungen und Aufschlüssen erlaubt.

Die in der POLLDAB erfassten Daten sind Grundlage für die stratigrafische Qualifizierung der durch die Geologische Landesaufnahme, hier insbesondere der Quartär-, Hydro- und Bodengeologie, erhobenen Daten.

Summary

Since 2001 the LBGR dispose of a pollen data base (POLLDAB) including stratigraphical information to currently 681 bore holes and outcrops predominantly of the Berlin-Brandenburg area. The input of data levied before 1991 take place by using a pollen report data base which allowed a fast enquiry of 1798 bore holes and outcrops at the moment.

The data input of the POLLDAB represents the basis for stratification of geological data levied by quaternary geology, hydrogeology and soil science.

Danksagung

Für die Unterstützung beim Aufbau der oben beschriebenen Datenbanken danke ich in erster Linie Herrn Joris Hering (LBGR) für die Bereitstellung des technischen Know-how. Des Weiteren sei an dieser Stelle Frau Angela Sonntag und den Herren Norbert Hermsdorf, Dr. Norbert Schlaak, Dirk Zorn (LBGR) sowie den Herren Ulrich Müller und Karsten Schütze (LUNG Mecklenburg-Vorpommern), Dr. Stefan Wansa (LAGB Sachsen-Anhalt), Dr. Lutz Katzschmann (TLUG Thüringen) und Frau Maria Seifert-Eulen (ehemals LfUG Sachsen) für die Recherche der nötigen Kopfdaten der Bohrungen und Aufschlüsse sowie die Bereitstellung von Berichtskopien für das Archiv gedankt!

> Anschrift der Autorin: Dr. Jaqueline Strahl Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Bereich Geologie Stahnsdorfer Damm 77 14532 Kleinmachnow

Mitteilung aus dem Landesamt No. 213

Buchbesprechung

J. H. SCHROEDER (Hrsg.) (2006): Führer zur Geologie von Berlin und Brandenburg, Nr. 6: Naturwerksteine in Architektur und Baugeschichte von Berlin. - 2. erweiterte und verbesserte Auflage, 276 S., Berlin (Selbstverlag Geowissenschaftler von Berlin und Brandenburg e. V.) ISBN 978-3-928651-12-9 ISSN 0941-2980

Nein, dies ist kein geologischer Exkursionsführer im eigentlichen Sinne. Dies ist ein Wegbegleiter, der Ihnen kompetent und umfassend aufzeigt, wie komplex die Natursteinnutzung einer Stadt dargestellt werden kann und welchen kulturellen, geschichtlichen, technologischen, handelspolitischen etc. Einflüssen diese unterliegt. Folgerichtig erfahren Sie nicht nur in allgemeinverständlicher Form Näheres zur Natursteinnutzung an markanten Gebäuden im Zentrum Berlins, sondern auch eine Vielzahl an bau- und kulturgeschichtlichen Einblicken, die Ihnen ganz neue Seiten der Bundeshauptstadt aufzeigen werden. Eine intensive tabellarische Erschließung der Naturwerksteinnutzung in Verbindung mit architektonischen Angaben ermöglicht auch thematisch orientierte Exkursionen bei denen sie sich von ihren jeweiligen Gesteinsvorlieben oder historischen Bauphasen leiten lassen können. Und nicht nur am Rande sei darauf hingewiesen, dass sie die Vielfalt der Naturwerksteine im Zentrum Berlins auch auf einer fachmännisch geführter Exkursion erleben können, die u. a. von einer der Autorinnen, Frau Dr. Gerda Schirrmeister, angeboten werden.

Dieser Exkursionsführer liefert sowohl dem ausgebildeten Geowissenschaftler als auch dem interessierten Laien etwas: Ersterer wird mit Vergnügen den aufgezeigten Details

der Werksteinnutzung nachgehen, während für den Nutzer ohne ausgesprochene Spezialausbildung eine Fülle an hilfreichen Zusatzinformationen zur Verfügung steht, die ihm das Ergründen der Werksteinnutzung einschließlich der geologischen Rahmenverhältnisse wesentlich erleichtern werden. So erfährt er etwas über die allgemeine Gesteinsentstehung und die Klassifikation der Gesteine, erhält Einblick in den ortskonkreten geologischen Werdegang und die Gesteinsabfolge unter seinen Füßen, findet einen "Übersetzungsschlüssel' für die mitunter sehr phantasievollen Handelsnahmen der Werksteine in die gesteinskundlich korrekte Bezeichnung, kann anhand von instruktiven Fotos und Skizzen beispielhaft das konkret beschriebene Gestein sicher zuordnen und findet schließlich weiterführende Hinweise nicht nur zur Werksteinnutzung, sondern auch zu regionalgeologischen, baugeschichtlichen und sonstigen Informationen.

Der Exkursionsführer Nr. 6 erscheint bereits in zweiter und erweiterter Auflage, das beste Zeichen, dass er von den Lesern angenommen wird. Dem Herausgeber und den Autoren ist zu danken für die sorgfältige Überarbeitung und interessante Erweiterung sowie die gute Bebilderung dieses sehr empfehlenswerten Exkursionsführers. Auch wenn er nur in wenigen Buchhandlungen Berlins und einer Reihe von Geo-Institutionen angeboten wird, sollte ihm eine weite Verbreitung und positive Aufnahme sicher sein. Der Exkursionsführer kann uneingeschränkt zur eigenen Erbauung oder Weitergabe empfohlen werden.

Werner Stackebrandt



Gesteinskundliche Stadtbummel zwischen Alexanderplatz und Großem Stern

S. 31-36

Synopsis jungquartärer Landschaftsgeschichte im Gebiet des Rheinsberger Rhin

Synopsis for the Upper Quaternary history of the region Rheinsberg Rhin

Peter Gärtner

Herrn Dr. Hans Ulrich Thieke zum 65. Geburtstag gewidmet





1. Untersuchungsgebiet

Der Untersuchungsraum Oberes Rhintal zwischen Zechow und Zippelsförde liegt im Landkreis Ostprignitz/Ruppin des Landes Brandenburg, ca. 10 km südlich von Rheinsberg.

Neben weichselglazialen Grundmoränenplatten wird das Gebiet zwischen Zechlin und Gransee durch Endmoränen der sogenannten Frankfurter Eisrandlage geprägt. Im Gegensatz zur Pommerschen Hauptendmoräne sind Blockpakkungen als markante Hangendfolgen im Top dieser Endmoräne nur inselhaft und geringmächtig entwickelt. Ihr Rückland wird durch das Rheinsberger Becken eingenommen. Das Vorland ist durch ausgedehnte Flächensander der Wittstock-Ruppiner Waldheide und der Rüthnicker Waldheide bestimmt (MARCINEK & ZAUMSEIL 1995). Auffällig ist die kurze, N-S gerichtete Hauptentwässerungsbahn des Rhin von Rheinsberg über die Zechower Pforte, die bei Zippelsförde in die hufeisenförmige Seenkette der Ruppiner Rinne einmündet.

2. Veranlassung

Das eindrucksvolle geomorphologische Inventar des Untersuchungsgebietes war in den 1990iger Jahren bei Flussbefahrungen und Feldbegehungen aufgefallen. In deren Ergebnis wurde das Rhingebiet als ein Schwerpunktraum für Untersuchungen zur periglaziären Reliefentwicklung im Nordostdeutschen Tiefland ausgewählt und im Zusammenhang mit einem DFG Projekt von 1993 bis 1998 bearbeitet.



Abb. 2Die Paläoniveaus des Rhin in SchnittdarstellungFig. 2The Paleolevels of the Rhin in sections

Ausgangspunkt der Arbeiten waren günstige Aufschlussverhältnisse in weichselglazialen Endmoränen der Kiesgrube Zechow. Detailuntersuchungen der weichselspätglazialen und holozänen Terrassen des Rhin, von limnischen Ablagerungen des Schulzensees sowie der Bearbeitung des Rhinschwemmfächers komplettierten die Basis für die Rekonstruktion der jungquartären Landschaftsgeschichte.

3. Glaziale Anlage

Kiesgrubenaufschlüsse der rahmenden Endmoränenzüge der Zechower Berge (Abb. 3) zeigten ungestörte Hochlagen von Grundmoränen mit saaleglazialem Kleingeschiebespektrum (GÄRTNER 1998). Diese während des Weichselglazials nur geringmächtig überdeckten saaleglazialen Hochlagen sind vergleichbar mit Vorkommen auf dem Barnim (GÄRTNER 1993). Damit ist zumindest für diese beiden Räume eine weichselzeitliche Anlage der Endmoränengebiete lithostratigraphisch nicht zu belegen.

Im Hangenden der saaleglazialen Grundmoränen bei Zechow sind zwei periglazial beeinflusste glazifluviatile Serien entwickelt, die durch einen Frostbodenhorizont getrennt werden. Holzkohlen aus diesem Horizont wurden durch das Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung (Hv 21669) auf ein konventionelles ¹⁴C-Alter von 13 910 \pm 360 a BP (cal BC 15 170-14 270) datiert. Glazigene Dislokationen in der oberen Serie belegen Gletschereinfluss der nach dieser ¹⁴C-Datierung dem Maximalvorstoß des Pommerschen Stadiums zugeordnet wird (GÄRTNER 1998).



Abb. 3 Übersicht der Lagerungsverhältnisse in der Nordostwand der Kiesgrube Zechow
Fig. 3 Scheme of the sediment conditions of the North Eastern wall of the Zechow gravel-pit



Abb. 4

Frostbodenhorizont im Liegenden der pleni-periglazialen Beckenfüllung

Fig. 4

Frost soil horizon underlaying the pleni-periglacial of the basin sediments

4. Weichselspätglaziale Talentwicklung

Die im Bereich der Zechower Pforte gut gliederbaren Paläoniveaus des Rhintals (vgl. Abb. 5) sind in ein Fundament aus karbonathaltigen Sanden eingesenkt. Es folgen auf den jeweiligen Paläoniveaus geringmächtige karbonatfreie Sandpakete und grobsandig-kiesige Rinnenfüllungen. Nach den Befunden aus der Kiesgrube Zechow ist die erosive Anlage des 2. bis 4. Paläoniveaus "postpommerschen" Prozessfolgen zuzuordnen.

Die periglazialen Decksedimente des 2., 3. und 4. Abflussniveaus besitzen eine vergleichbare lithostratigraphische Abfolge (GÄRTNER 1998).

Die Talflanken der Paläoniveaus sind durch Trokkentäler unterschiedlicher Generationen zerschnitten. Im Randbereich des 4. Paläoniveaus sind kurze, hängende periglaziale Trockentäler entwickelt, die die ältesten Bildungen dieser Art im Rhingebiet darstellen. Längere periglaziale Trockentäler (über 200 m) erfassen das 3. und 4. Paläoniveau und münden auf dem 2. Paläoniveau. Da auf ihren Schwemmfächern Kleindünen mit begrabenem allerödzeitlichem Finowboden (SCHLAAK 1993) ausgebildet sind, ist ihre Genese präallerödzeitlich anzusetzen. Darüber hinaus sind hängende Trockentäler im 1. und 2. Paläoniveau über der rezenten Rhinaue ausgebildet. Wegen des fehlenden Geschiebedecksandes in diesen Tälern handelt es sich hier um holozäne Bildungen.

In der Ruppiner Rinne sind die Paläoniveaus aus dem Rhintal nicht weiter zu verfolgen (PAPENROTH 1998). Wahrscheinlich bildete die toteiserfüllte Ruppiner Rinne eine großräumige Sedimentfalle, die durch ihr spezifisches Niedertauverhalten die Entwicklung der Paläoniveaus des Rhins lokal steuerte. Vergleichbar wäre eine solche Entwick-



Abb. 5 Profilschnitte des Rhintals zwischen Zechow und Zippelsförde.
Fig. 5 Profile section of the Rhin valley between the places Zechow and Zippelsförde



Abb. 6 Bohrprofil aus dem Rhintal im Bereich der Zechower Pforte.*Fig.* 6 Drilling profile from the Rhin valley near the Zechow Pforte

lung mit Befunden aus toteisunterlagerten Sandern des Westlichen Barnims (Gärtner 1993).

Die Basis der weichselspätglazialen Schichtenfolgen bildet eine durch solifluidale Prozesse geformte Kies- und Steinlage in lehmiger Matrix (Abb. 6). Darüber folgen ältere periglaziale Sande, die sowohl Erosionsprodukte der periglazialen Talbildung auf den Paläoniveaus, als auch äolischen Ursprungs sind.

In diese ältere periglaziale Periode fällt nach dem einsetzenden Tieftauen begrabenen Toteises auch die spätglaziale Eintiefung des Rhin, die das heutige Niveau bis zu 2 m unterschreitet. Nach den pollenanalytischen Befunden aus dem Schulzensee (SCHOKNECHT in GÄRTNER 1998) auf dem 2. Paläoniveau, muss diese Tieferlegung vor der Älteren Dryas erfolgt sein. Die Flussentwicklung und damit verbundene fluviale Sedimentationsphasen des Weichselspätglazials und Holozäns sind seither auf das 1. Paläoniveau und den Auenbereich des Rhins beschränkt.

Auch in der Ruppiner Rinne war der Toteisaustau präallerödzeitlich soweit fortgeschritten, das der Rhin seinen


Abb. 7

Lagerungsverhältnisse einer Kuppendüne des 2. Paläoniveaus

Fig. 7

Sediment conditions of a dome dune of the second paleolevel

Schwemmfächer in einen spätglazialen See innerhalb der Ruppiner Rinne schüttete. Schon zu dieser Zeit verlief die Schwemmfächerbildung angelehnt an die langgestreckte Rinnenmorphologie (PAPPENROTH 1998).

Bis zum Alleröd war die weichselspätglaziale Abflussrinne des Rhin auf rezentes Niveau verfüllt. Größere Abschnitte älterer Talmäander verlandeten in diesem Zeitraum und bildeten das heute in Prallhangbereichen des Rhin verbreitet angeschnittene organische Auensediment in Wasserspiegelhöhe.

Innerhalb des Rhinschwemmfächers führte die Erwärmung im Alleröd zum deutlichen Rückgang der Schüttungen und zur Dominanz limnischer Ablagerungen. Hauptphase der weichselspätglazialen Schwemmfächerbildung war die Jüngere Dryas. Auch hier folgte die Schwemmfächerbildung der langgestreckten Rinnenmorphologie, wobei limnische Sedimente und sandige Schwemmfächerablagerungen häufig wechselten.

Auf dem 4. bis 2. Paläoniveau entwickelte sich im Alleröd ein Bv-Horizont (Finowboden). Nach der Abkühlung während der Jüngeren Dryas und der damit einhergehenden Belebung äolischer Prozesse (Abb. 7) wurde dieser Boden in den Kleindünen des Ostufers begraben. Innerhalb des Rhinlaufs erfolgte die erneute Aufhöhung des Talbodens, die spätestens im Atlantikum beendet wurde. Danach konzentrierte sich das fluviatile Prozessgeschehen auf die rezente Rhinaue.

Die holozäne Schwemmfächerbildung wies eine hohe Intensität im Präboreal auf und erreichte nach der atlantischen Ruhephase im Subboreal ein weiteres Maximum. Dabei traf der subboreale Schwemmfächervorstoß auf eine durch das atlantische Torfwachstum nivellierte Oberfläche und führte zu einer halbkreisförmigen, terrestrischen Schwemmfächerablagerung.

Besiedlungsspuren lassen sich nach pollenanalytischen Befunden (Schoknecht in Gärtner 1998) für den Bereich des Schulzensees erst nach der Bronzezeit erkennen.

Zusammenfassung

Der Rheinsberger Rhin durchbricht bei Zechow einen markanten Endmoränenzug der sogenannten Frankfurter Eisrandlage. Oberflächennah lagern in dieser Endmoräne Geschiebemergel mit saaleglazialem Kleingeschiebespektrum. Dieser Befund wird als Hinweis auf eine saaleglaziale Vorprägung der so genannten Frankfurter Eisrandlage am Rande des Rheinsberger Beckens gewertet. Hangendfolgen dieses Geschiebemergels stehen nach lithostratigraphischen Befunden und ¹⁴C-Datierung im Zusammenhang mit einem Vorstoß der Gletscher des Pommerschen Stadiums bis in das Rheinsberger Becken.

Vom Verlassen des Rheinsberger Beckens bis zur Mündung in die Ruppiner Rinne bei Zippelsförde begleiten den Rhin vier Paläoniveaus.

Die periglazialen Deckschichten des 2. bis 4. Paläoniveaus zeigen vergleichbare lithostratigraphische Abfolgen, was auf ein zeitlich ähnliches Entstehungsalter schließen lässt. Unterschiede der Intensität periglazialer Prozessfolgen im frühen Weichselspätglazial zeigen sich an den Talrändern der Paläoniveaus. Hier sind verschiedene Generationen von periglazialen Trockentälern entwickelt.

Der sukzessive Austau des Toteises in der Ruppiner Rinne steuerte im Wesentlichen die Entstehung des 2. bis 4. Paläoniveaus. Die Ruppiner Rinne war dabei Sedimentationsraum für die bei der Einschneidung der Paläoniveaus des Rhins ausgeräumten Sedimente.

Die fluviatile Entwicklung des Rhinlaufs ist seit der Ältesten Dryas auf das 1. Paläoniveau und den Auenbereich des Rhins beschränkt. Die Sequenz dieser Entwicklung schlägt sich gleichermaßen in den Abfolgen des Rhinschwemmfächers in der Ruppiner Rinne nieder. Diese beiden korrespondierenden Entwicklungen sind durch ¹⁴C-Datierungen und Pollenanalysen abgegrenzt und charakterisiert. Nach der präallerödzeitlichen Einschneidung unter das rezente Rhinniveau und einer allerödzeitlichen fluviatilen Ruhephase trat einsetzend mit der Jüngeren Dryas eine Aufhöhung des spätglazialen Paläoniveaus um ca. 1 m ein. Seit dem Atlantikum erfolgte dann die anthropogen ausgelöste Einschneidung des Rhins auf heutiges Niveau. Die holozänen fluviatilen Abläufe sind dabei im Rhinschwemmfächer hoch aufgelöst dokumentiert.

Die äolischen Schichtenfolgen des Rhintals sind im Bereich der östlichen Talflanken gut gliederbar. Es zeigen sich dabei im Liegenden die für das brandenburgische Tiefland verbreiteten Abfolgen von präallerödzeitlichen Flugsanden mit abschließendem allerödzeitlichem Finowboden. Darüber folgen äolische Ablagerungen der Jüngeren Dryas. Das Hangende bilden alt- und jungholozäne Flugsandschichten, die durch Paläoböden abgrenzbar sind.

Summary

Near to the place Zechow the Rheinsberg Rhin crosses a distinctive end moraine belt of the so called Frankfurt ice advance. Concerning to the results of pebble analysis this end moraine contains near-surface till of saalian age. This fact can be regarded as an indication for older formative influences. According to lithostratigraphical research and radiocarbon dating hillside layers of this till are cohesive with the glacier advance from the Pomeranian stadium until the Rheinsberg basin.

From the Rheinsberg basin up to the estuary in the Ruppin Rinne near Zippelsförde the Rhin is characterized by four paleolevels.

The periglacial cover sands of the 2nd - 4th paleolevels have comparable lithostratigraphical sequences, what indicates very similar dates of origin. The basin edges give evidence to differences concerning the intensity of the periglacial processes during the late glacial. Different generations of periglacial dry valley can be found there. The formation of the 2nd - 4th paleolevels goes mainly back to the gradual thawing of dead ice in the Ruppin Rinne. In this process the Ruppin Rinne was the area of accumulation for the sediments, which cleared out during the incision of the paleolevels of the Rhin. The fluvial development of the Rhin course has been restricted to the first paleolevel and the Rhin meadows since the Oldest Dryas. The sequence of this development is reflected as well in the sequences of the Rhin alluvial cone in the Ruppin Rinne. These two corresponding developments are defined and characterized by both radiocarbon dating and pollen analysis. After the Prealleroed incision down to below the recent Rhin level and an Alleroed fluviatile rest period, the late glacial paleolevel began to elevate of about 1 m beginning with the Younger Dryas. Since the Atlanticum an anthropogenic induced incision of the Rhin up to recent level has begun. The Holocene fluviatile processes are documented with high resolution in the alluvial cone.

The aeolian sequences of the Rhin Channel can well be classified in the region of the eastern valley slopes. The profiles show sequences of Prealleroed drift sands, a typical phenomenon for the Brandenburg lowlands, covered by Finow Alleroed soil. They are followed by aeolian Younger Dryas sediments. According to the radiocarbon dating of the paleolevels the hillside layers consist of Older and Younger Holocene drift sands.

Literatur

- BRAMER, H. (1991): Stratigraphische Skala des Quartärs.
 In: Physische Geographie Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Sachsen, Thüringen.
 213 S., Gotha
- BUSSEMER, S., GÄRTNER, P. & N. SCHLAAK (1998): Stratigraphie, Stoffbestand und Reliefwirksamkeit der Flugsande im brandenburgischen Jungmoränenland. - Petermanns Geographische Mitteilungen **142**, S. 115-125, Gotha

- GAGEL, C. (1920): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen – Blatt Dierberg. - Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin
- GÄRTNER, P. (1993): Zur Tal- und Flußentwicklung der Panke im Jungpleistozän. - Berliner Geographische Arbeiten **78**, S. 117-136, Berlin
- GÄRTNER, P. (1998): Neue Erkenntnisse zur jungquartären Landschaftsentwicklung in Nordwestbrandenburg – Eine landschaftsgenetische Studie am Ausgang des Rheinsberger Beckens. - Münchener Geographische Arbeiten **A 49**, S. 95-116, München
- GÄRTNER, P. (2002): Nordbrandenburgische Flußentwicklung am Beispiel des Rheinsberger Rhin. - Greifswalder Geographische Arbeiten **26**, S. 27-30, Greifswald
- JAHNKE, W. & H. REINHARD (1968): Zur spätglazialen Gletscherdynamik und Entwicklungsgeschichte der großen Talungen im Nordosten Mecklenburgs. - Wiss. Z. Univ. Greifswald, Math. - Nat. R., S. 1-20, Greifswald
- KEILHACK, K. (1921): Geologische Übersichtskarte von Deutschland im Maßstab 1 : 500 000. - Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin
- KOZARSKI, S. (1991): Warta A Case Study of a Lowland River. - In: STARKEL, L., GREGORY, K. J. & J. B. THORNES: Temperate Paleohydrology. - S. 189-215, Chister, New York (John Wiley and Sons)
- MARCINEK, J. (1981): Kleiner Führer zum Rheinsberger Becken. - Berlin
- MARCINEK, J. & ZAUMSEIL, L. (1993): Brandenburg und Berlin im physisch- geographischen Überblick. - Geograph. Rundsch. **45**, S. 556-563, Braunschweig
- PAPENROTH, R. (1998): Holozäne Landschaftsentwicklung im Bereich der Rhinmündung bei Zippelsförde. - Diplomarbeit, Geographisches Institut, 70 S., Berlin
- SCHLAAK, N. (1993): Studie zur Landschaftsgenese im Raum Nordbarnim und Eberswalder Urstromtal. - Berl. Geogr. Arb. **76**, S. 1-160, Berlin

Anschrift des Autors: Dr. Peter Gärtner Lanker Weg 38 16348 Wandlitz e-mail: apm.Gaertner@freenet.de

Geologisch-morphologisches Profil durch den nordöstlichen Barnim (Brandenburg)

Geological cross section across the northeastern Barnim (Brandenburg area)

SIXTEN BUSSEMER, JÜRGEN MICHEL, NORBERT SCHLAAK & JOACHIM LUCKERT

Herrn Dr. Hans Ulrich Thieke zum 65. Geburtstag gewidmet

Einleitung

Vermutlich aufgrund seiner Aufschlussarmut werden Formenschatz und oberflächennaher Untergrund des nordöstlichen Barnims im neueren Schrifttum kaum diskutiert. Zuletzt fasste HANNEMANN (2003) die weichselzeitlichen Ablagerungen in diesem Raum als "dünnen löcherigen Schleier" zusammen. Neben der ubiquitären Frankfurter Eisrandlage (qwFF) in seinem südlichen Teil wurde von einigen Bearbeitern auf eine nördlich gelegene Endmoräne im Fuchsberg-Maxberggebiet verwiesen (Eberswalder oder Fürstenberger Staffel nach CEPEK 1994). Die zugehörigen Schmelzwasserbahnen verliefen nach FRANZ, SCHNEI-



holozäner Flugsand

Geschiebedecksand periglaziale Übergangszone

Geschiebe-

Geschiebemergel

Abb. 1 Schichtenfolge von Profil Schönfeld (zur Lage vgl. Abb. 5) Fig. 1

The stratigraphic sequence for section Schönfeld (for position see fig. 5)

DER & SCHOLZ (1970) anfangs über den Strausberger Sander, mit fortschreitendem Gletscherrückzug jedoch immer mehr entlang der subglazialen Rinnen wie Gamengrund und Strausberger Rinne. Eine morphologisch klare Zungenbeckensituation, wie im westlich anschließenden Biesenthaler Raum, fehlt im Rückland der beiden postulierten Endmoränenzüge.

Der präweichselzeitliche Untergrund des nordöstlichen Barnims weist nach Detailuntersuchungen von HANNE-MANN (1970) intensive und weitflächige glazitektonische Störungen auf. Aus geomorphologischer Sicht verbindet sich damit die Frage, ob die glaziale Serie unter diesen Bedingungen in ihrer klassischen Form erhalten bleibt. Ein erstes Fallbeispiel diskutierten BUSSEMER & MICHEL (2006) in der als Niedertaulandschaft beschriebenen Hirschfelder Heide. Mit Hilfe eines eigenen Transsektes aus Grabungen und Bohrungen soll nun der gesamte nordöstliche Barnim unter diesem Aspekt betrachtet werden.

Methoden

Eine grobe Gliederung der Landschaftseinheiten wurde mit Hilfe von Vermessungen, Rammkernsondierungen bis 15 m Tiefe, Grabungen und der Grundmoränenstratigraphie nach TGL 25232 (1971) erreicht. Zur genaueren Profilbeschreibung wurde die nachfolgende Analytik eingesetzt (Detailbeschreibung in BUSSEMER 2005 bzw. LUCKERT & Тніеке 2000):

- Korngrößenanalysen nach Köhn
- Kalkanalysen nach Scheibler
- Gesamtelementanalysen mit RFA
- Schwermineralzählungen an der Feinsandfraktion
- Röntgenphasenanalyse des Mineralbestandes von Geschiebemergel an der Ton/Silt-Matrix

Der mittlere Barnim als Prototyp einer Grundmoränenplatte

Die wellige Moränenplatte des Mittleren Barnims wird in ihrem Untergrund von söhlig lagernden Geschiebemergeln geprägt, welche zum Brandenburger Stadium der Weichselvergletscherung gehören (vgl. BUSSEMER 1994, 2002 bzw. NITZ 2004). Ergänzende aktuelle Geschiebezählungen aus provisorischen Aufschlüssen bestätigen diese Ansicht (Proben 1, 3 und 6 in Tab 1). Im unverwitterten Zustand besitzen die Grundmoränen eine graue Färbung (Abb. 1) und lehmige Matrix mit Kalkgehalten zwischen 4 und 7 %.

Neben der Kleingeschiebezählung stellt auch die Röntgenphasenanalyse einen lithostratigraphischen Ansatz zur Bestimmung signifikanter Merkmale der verschiedenen Geschiebemergelbänke dar (vgl. LUCKERT & THIEKE 2000). Auf dem nordöstlichen Barnim wurde eine Unterscheidung der oben beschriebenen weichselzeitlichen Geschiebemergel auf den Moränenplatten von den saalezeitlichen Geschiebemergeln des Waldhügellandes angestrebt (Tab. 2).

In allen Proben sind Quarz, Feldspäte, Calcit, Chlorit, Kaolinit, Illit und Smektit-Illit-mixed-layer-Minerale vorhanden, in einigen auch Dolomit, Pyrit und amorphe Phase. Muskovit konnte mitunter in der Sandfraktion nachgewiesen werden, Biotit hingegen nicht.

Quarz ist sowohl in der Gesamtprobe als auch in der hier untersuchten Ton/Silt-Fraktion die Hauptkomponente (Ø 30-40 Masse-%). Bei den Feldspäten (Ø 10-15 Masse-%) treten Kalifeldspat und Plagioklas stets zusammen auf, wobei die Gehalte an Plagioklas häufig etwas höher sind. Die Calcitgehalte sind relativ hoch und variieren in engen Grenzen (Ø 14-19 Masse-%). Dolomit (1-3 Masse- %) kommt vereinzelt sowohl in Saale- als auch in Weichsel-Geschiebemergel vor. Kaolinit und Chlorit (je 0,5-4 Masse-%) konnten anhand von Texturaufnahmen der Tonfraktion (Abb. 2 und 3) ebenfalls in allen Proben nachgewiesen werden, Gehalte < 0,5 Masse-% wurden in Tabelle 1 jedoch nicht berücksichtigt. Illit und die unregelmäßig geordneten Smektit-Illit-mixed-layer-Minerale (ml-Minerale) weisen annähernd gleich große Gehalte auf (je 12-18 Masse- %). Der Smektitanteil der ml-Minerale variiert zwischen 40-65 % und ist in den Saale-Mergeln mit 55-65 % meist deutlich höher als in den Weichsel-Mergeln. Bei den in Abbildung 2 und 3 dargestellten Texturaufnahmen der Tonfraktion saale- und weichselkaltzeitlicher Geschiebemergel sind die Unterschiede im Smektitanteil des ml-Minerals an der Peak-Intensität des 17Å-Reflexes (nach Behandlung mit Ethylenglykol) erkennbar. Die ml-Minerale in den Geschiebemergel entstammen der Aufarbeitung mariner Tertiärtone Norddeutschlands. Smektitminerale, wie z. B. Montmorillonit als 100% quellfähiges Tonmineral, konnten bisher in keiner der in diesem Zusammenhang durchgeführten Röntgenphasenanalysen von Geschiebemergeln festgestellt werden und sind bei Angabe in älterer Literatur als Fehlinterpretation zu bewerten.

Ihre Verwitterungszone erreicht gewöhnlich nur wenige dm, jedoch treten häufig tiefreichende Eiskeilpseudomorphosen als Zeugen der periglazialen Überprägung auf (Abb. 1). Die periglazialen Deckserien sind auf den Plateaus eher geringmächtig ausgebildet, nur in geschlossenen (Acker)hohlformen können sie größere Mächtigkeiten erreichen.

Kleinsenken als spezielle Reliefform – Fallstudie Soll Kleiner Wendtsee

Der Kleine Wendtsee südlich von Seefeld gehört mit einer Größe von 68x28 m zu einer Gruppe von drei länglichen Kleinsenken, die im flachwelligen Grundmoränenrelief bei Werneuchen liegen (Abb. 2). Durch einen großen Schurf im Beckenrand, zahlreiche Bohrungen im weiteren Umfeld des Beckens sowie pollenanalytische, ton- und schwermineralogische sowie Sieb- und kleingeschiebestatistische Untersuchungen konnten wertvolle Hinweise zur Geschichte dieser Hohlform gesammelt werden (SCHLAAK et al. 2006). Die vom Eis aus zusätzlich im Beckenzentrum abgeteufte Rammkernsondierung erreichte bei 10 m (ca. 11,5 m unter umliegendem Ackerniveau) unter einer geringmächtigen Geröllsohle einen Geschiebemergel mit typischem weichselkaltzeitlichem Kleingeschiebespektrum. Eine aus dem Bereich der Beckenumrahmung aus 2,5 bis 4 m analysierte Probe zeigte eine ähnliche Zusammensetzung (Probe 11 in Tab. 1). Die ca. 9 m mächtige Sedimentfüllung der Hohlform besteht in ihrem liegenden Abschnitt aus einer Wechselfolge von ca. 3 m mächtigen karbonathaltigen Feinsanden und kiesführenden Schluffen. Im rhythmischen Wechsel von äolischer Sedimentation und Solifluktion/Abluation kamen diese Sedimente im frühen Weichselspätglazial zur Ablagerung. Im Hangenden folgen karbonatfreie Schluffe, Sande, Schluff- und Tonmudden, die im Holozän eingeschwemmt wurden. Der Südteil der Beckenumrahmung zeigt Kolluviumsmächtigkeiten von bis zu 2,5 m, die im Hangenden dem Ackerbau in jüngster Zeit geschuldet sind.

Lagerungsverhältnisse und Analysendaten lassen für die Entwicklung des Solls folgenden Schluss zu: Im Bereich der Geländedepression und deren Umfeld kam es im Weichsel-Spätglazial zur Ablagerung von Flugsanden, die maßgeblich an der Konservierung der Toteishohlform beteiligt waren. Bis zum Beginn der frühen Gewässerphase kam es zu einer rhythmischen Einwehung von Feinsanden. Mit dem Tieftauen des verschütteten Eiskörpers brach schließlich die über dem Toteis abgelagerte Sedimentfolge ein. Mit ca. 45.000 m² besitzt die kleine Hohlform ein relativ großes Einzugsgebiet, weshalb es bei extremen Niederschlagsereignissen zu erhöhtem Sedimenteintrag kommen konnte. Durch teilweise Ausbaggerung des Zentralteils fehlt die pollenstratigraphische Beurteilung des Komplettprofils. Die teilweise schlechte Pollenerhaltung in den untersuchten Profilteilen deutet jedoch auf ein längeres Trockenfallen des Kleingewässers hin, eine kontinuierliche Gewässerphase existierte nicht. Dennoch konnten im Randbereich des Beckens Pollensequenzen aus dem Jüngeren Subatlantikum ermittelt werden, die im Hangenden mit Siedlungszeigern und Kulturbegleitern mindestens das Hochmittelalter markieren (STRAHL 2006).

Beim Kleinen Wendtsee handelt es sich damit um ein glazigenes (echtes) Soll mit den Merkmalen eines Pseudosolls (Abb. 4). Ergebnisse geschiebeanalytischen Untersuchungen an ausgewählten Proben aus dem Arbeitsgebiet (zur Lage vgl. Abb. 5 bzw. Abb. 12) Results of pebble analysis of ground moraine horizons in the investigation area (to the position see Fig. 5 and Fig. 12) Tab. I Tab. I

ufung		hsel				hsel										hsel		hsel		hsel		chsel)		hsel			chsel?)	hsel	
Einst		Weic		Saale		Weic]		Saale		Saale		Saale		Saale		Weic]		Weic]		Weic]		(Weid		Weic]		Saale	(Weid	Weic]	
$(\mathbf{PK}+\mathbf{M})$	cila	3,31		2		1,92		2,19		2,69		3,06		2,95		2,09		2,38		2,71		2,1		2		2,77		2,89	
PKgr/		14,36		8,33		17,4		13,25		9		13,29		28		7,53		17,33		9,24		4		6,11		12		11,14	
F/NK		0,03		0,04		0,05		0,17		0,16		80'0		0,11		0,09		0		0,03		0,12		0,07		0,15		0,08	
Ffr/	ΓN	0,01		0,05		0,03		0,14		0,19		0,06		0,1		0,04		0		0,01		0,1		0,05		0,1		0,04	
NK/ NK/	LN	0,65		1,39		1,02		1,26		1,17		0.95		1,05		1,14		0,73		0,63		0,85		1,11		0,78		0,91	
NK/	h	0		29,25		47		0		49		95		61		165		20		19,43		17		17,75		11,83		25,67	
NK/ PSC	2	4,48		58,5		3,03		18		49		47,5		12,2		3,44		1,25		1,84		1,89		7,1		7,89		4,53	
S0*		4	0,81	15	4,84	4	1,36	2	1,07	2	1,61	1	0,4	0	0,0	0		0	0,0	1	0,18	1	1,47	0		1	0,39	0	
Q*		25	5,04	29	9,35	13	4,41	14	7,49	5	4,03	6	3,57	9	3,75	28	5,87	9	3,7	29	5,25	5	7,35	24	11,21	32	12,4	18	3,89
S*		65	13,1	44	14,19	49	16,61	26	13,9	16	12,9	33	13,1	20	12,5	70	14,68	24	14,81	82	14,86	10	14,71	34	15,89	35	13,57	61	13,17
MK*		13	2,62	10	3,23	5	1,69	0	0,0	0	0,0	3	1,19	2	1,25	5	1,05	3	1,85	4	0,72	3	4,41	2	0.93	2	0,78	8	1,73
F*(Ffr)		4(3)	0,81	5(4)	1,61	5(3)	1,69	12(8)	6,42	8(8)	6,45	8(6)	3,17	7(6) 7	4,38	15(6)	3,14	0	0,0	4(3)	0,72	2(2)	2,94	5(3)	2,34	11(9)	4,26	12(7)	2,59
D*		0	0,0	4	1,29	2	0,68	0	0,0	1	0,81	1	0,4	1	0,63	1	0,21	2	1,23	7	1,27	1	1,47	4	1,87	9	2,33	9	1,3
*Sd		31	6,25	2	0,65	31	10,51	4	2,14	1	0,81	2	0,79	5	3,13	48	10,06	32	19,75	74	13,41	6	13,24	10	4,67	6	3,49	34	7,34
PK*		215	43,35	84	27,1	92	31,19	57	30,48	42	33,87	100	39,68	58	36,25	145	30,4	55	33,95	215	38,95	20	29,41	64	29,91	91	35,27	170	36,72
NK*		139	28,02	117	37,74	94	31,86	72	38,5	49	39,52	95	37,7	61	38,13	165	34,59	40	24,69	136	24,64	17	25	71	33,18	71	27,52	154	33,26
UTM ETRS 89; Höhe		33 405982/5834800	85 m HN	33 420115/5833935	122 m HN	33 418451/5834111	92 m HN	33 420638/5835451	105 m HN	33 420638/5835451	105 m HN	33 420973/5835391	110 m HN	33 420973/5835391	110 m HN	33 422113/5844302	70 m HN	33 426812/5851564	70 m HN	33 426812/5851564	70 m HN	33 426245/5851462	60 m HN	33 426265/5851428	50 m HN	33 426272/5851393	60 m HN	33 410975/5829707	74,7 mHN
r. Lokalität/	DUILUING	Elisenau 1,	Aufschluss	Hirschfelde 3,	Aufschluss	Hirschfelde 1,	Aufschluss	Beiersdorf BKS 4a		Beiersdorf BKS 4b		Beiersdorf BKS 7-	11	Beiersdorf BKS 7-	12	Heckelberg1		Hohenfinow BG4-	1	Hohenfinow BG4		Hohenfinow BG5		Hohenfinow	BTN1b) Hohenfinow BG6		Soll Kleiner	Wendtsee
Ż		-		7		З		4a		4b		5a		5b		9		7a		Τb		8		6		10		11	

*=Anzahl Prozent





Tab. 2

Mineralogische Zusammensetzung der Ton/Silt-Matrix (Fraktion $< 63 \mu m$) von Geschiebemergeln aus Bohrungen und Aufschlüssen des Barnim (Angaben in Masse-%). Ergänzend wurden der Anteil der durch Nasssiebung abgetrennten Fraktion $< 63 \mu m$ und die stratigraphische Einstufung der Proben mit aufgeführt

Tab. 2

Mineralogical composition of the clay/silt-matrix (fraction $< 63 \mu$ m) of tills from drillings and exposures of the Barnim (value in mass-%). Additionally the ratio of the fraction $< 63 \mu$ m separated by wet screening and the stratigraphical classification of the samples were listed

Nr.	Lokalität/ Bohrung	Fraktion < 63 μm	Quarz	Kali- Fsp.	Plagio- klas	Cal- cit	Dolo- mit	Pyrit	Chlo- rit	Kao- linit	Illit	ml ^a	Sm- Anteil ^b	Amorphe Phase	Einstu- fung
3	Hirschfeld 1 Aufschluss	38,2	32	4	7	14	-	-	0,5	2,5	17	18	60	5	qw
4a	Beiersdorf BKS 4a	52,2	35	5	6	16	-	-	1	3	18	16	55-60	-	qs
4b	Beiersdorf BKS 4b	60,4	33	5	5	15	3	1	2	3	15	18	60	-	qs
5a	Beiersdorf BKS 7-11	28,6	35	6	6	16	-	-	-	3	16	15	60-65	3	qs
5b	Beiersdorf BKS 7-12	27,6	37	8	7	16	-	-	-	2	12	16	65	2	qs
6	Heckelberg 1	36,6	42	5	6	8	-	-	1	2	12	14	40-45	10	qw
7a	Hohenfinow BG4-1	44,0	29	5	6	19	2	1	1	3	17	17	55	-	qw
7b	Hohenfinow BG4	43,6	33	5	6	15	2	-	2	2	18	12	50	5	qw
8	Hohenfinow BG5	47,8	40	4	6	18	-	-	-	2	12	12	55	6	qw
9	Hohenfinow BTN 1b	42,2	31	6	7	15	3	-	4	3	16	15	45	-	qw
10	Hohenfinow BG6	38,8	34	4	6	18	4	-	1	2	16	15	45-50	-	qs/qw
11	Soll Kleiner Wendtsee	31,7	35	5	5	7	3	-	2,5	2,5	16	17	55	7	qw

a - unregelmäßig geordnete Smektit-Illit-mixed-layer-Minerale mit Smektitschichtanteilen von 40-65%

b - Anteil der Smektitschichten in den Smektit-Illit-ml-Mineralen

Abb.2

Röntgentexturaufnahmen von der Tonfraktion der saalekaltzeitlichen Geschiebemergelprobe Hirschfelder Heide BKS 4b nach unterschiedlicher Behandlung.

Fig. 2

X-ray texture analysis of the clay fraction of the Saale till sample Hirschfelder Heide BKS 4b after different treatment.

Abb. 3

Röntgentexturaufnahmen von der Tonfraktion der weichselkaltzeitlichen Geschiebemergelprobe Hohenfinow BTN 1b nach unterschiedlicher Behandlung.

Fig. 3

X-ray texture analysis of the clay fraction of the Weichselian till sample Hohenfinow BTN lb after different treatment.



Abb. 4 Schurf am Südrand des Solls, an der Basis Flugsande Fig. 4 Outcrop in the border of the kettle hole (S), aeolian sands at the base

Das Waldhügelland des Barnims als Prototyp einer Niedertaulandschaft

Ausgehend von der bereits ausführlich analysierten Hirschfelder Heide (BUSSEMER & MICHEL 2006) lassen sich im gesamten Waldhügelland zwischen Hirschfelde, Prötzel und Freienwalde deutliche Abweichungen vom Konzept der glazialen Serie erkennen (Abb. 5). Bei Sondierungen entlang des eigenen Transsektes streichen die söhlig lagernden weichselkaltzeitlichen Geschiebemergel der oben beschriebenen Moränenplatte etwa zwischen den Ortschaften Werftpfuhl und Hirschfelde aus, um in die sandgeprägte Niedertaulandschaft der Hirschfelder Heide überzugehen. Deren zentrale Kames mit anschließenden Kamesterrassen entlang der Straße von Werftpfuhl nach Prötzel gehören zu den höchsten Erhebungen des nordöstlichen Barnims (Detailbeschreibung in BUSSEMER & MICHEL 2006). Neben den vor allem die Kames abdeckenden Ablationsmoränen kommen untergeordnet weitere glazigene Sedimente vor. Geschiebemergel lassen sich nur punktuell beobachten. In der 2 km nördlich von Hirschfelde gelegenen Lehmgrube einer alten Armeestellung wurde ein 3m mächtiger, stark kalkhaltiger Geschiebemergel mit Stauchungserscheinungen und steilgestellten Vorschüttsanden an der Basis aufgeschlossen (Profil HH2 in BUSSEMER 1993a). Bohrungen und Grabungen in der ebenen Umgebung erbrachten horizontal lagernde, jüngere Sande glazifluviatiler und glazilimnischer Genese, welche diese Struktur als isolierte ältere Aufragung ausweisen. Die geschiebeanalytischen Befunde, welche ihn in das Saaleglazial einordnen, stimmen damit



Abb. 5

Geologisch-morphologische Gliederung des weiteren Untersuchungsgebietes nach An-ONYMUS (1925), LEMBKE (1940) und CEPEK (1994)

Fig. 5

Geological classification of the examination area according to ANONYMUS (1925), LEMBKE (1940) and CEPEK (1994)



Beschreibung, Korngrößenverteilung und Analytik von Profil Prötzel Abb. 6 Description, grain size analysis and chemical analytics of section Prötzel Fig. 6



Description, grain size analysis and chemical analytics of section Hirschfelder Heide 1

Profil	Teufe	Px	Am	Gr	Ep	М	Z	Opake	Rel. SM-
									Geh. (Gew -%)
BKS 4a	5,1-7,15 m	5	30	30	13	9	13	38	0,6
-	, , ,								,
BKS 5	8,6 m	4	33	26	11	13	13	62	0,8

Tab. 3 Schwermineralgehalte in der Bohrung BKS 4 in der Hirschfelder Heide nach H. U. Thieke (2007)
Tab. 3 Heavy mineral contents in the drill core BKS 4 at the Hirschfelder Heide acc. to H. U. Thieke (2007)

überein (BUSSEMER 2003). Reste dieses Geschiebemergels wurden etwa 150 m südlich von dieser Aufragung, eingebettet in jüngere Schmelzwassersande wiedergefunden, welche offenbar als Scholle mitgerissen wurden (Probe 2 in Tab. 1).

Das oberflächennahe Vorkommen mittelpleistozäner Geschiebemergel im Sinne einzelner Durchragungen wurde in mehreren Bohrungen unter den Kamesterrassen der Hirschfelder Heide bestätigt (geomorphologische Beschreibung in Bussemer & MICHEL 2006). Hier wurden stellenweise unter 1,3 bis 4,00 m mächtigen Schmelzwassersanden ohne Einschaltung von jüngerem Moränenmaterial sofort die saalezeitlichen Geschiebemergel mit ihren hohen Gehalten an Paläozoischen Kalken und hohen NK/ PS-Quotienten identifiziert (Proben 4b und 5a in Tab 1). Ihr Schwermineralspektrum lässt sich von den hangenden Niedertausedimenten nicht unterscheiden, jedoch liegen die Schwermineralgehalte der Geschiebemergelproben aus den Bohrungen deutlich niedriger (vgl. Tab. 3). Das ist offensichtlich auf die hier sehr intensive, schmelzwasserbestimmte Aufarbeitung des glazigenen Untergrundes zurückzuführen.

Die weichselzeitlichen glazigenen Sedimente beschränken sich neben den ubiquitären Ablationsmoränen (BUSSEMER & MICHEL 2006) offenbar auf Fließmoränen mit punktueller Verbreitung. Diese offenbar den flow tills i. S. von



BOULTON (1968) entsprechenden Sedimente zeichnen sich durch Kalkfreiheit, sandige Matrix sowie im Gegensatz zu den Ablationsmoränen auch durch größere Mächtigkeiten, Fließstrukturen und Skelettarmut aus.

Besonders prägnant lässt sich dieser Habitus am Beispiel der Profile Prötzel und Armeestellung beschreiben. Der eine eisrandnahe Gesamtsituation abbildende Profilkomplex Prötzel (vgl. Bussemer 1994) weist im Hangenden stellenweise Moränen mit Fließstrukturen auf, welche durch randliche Toteisabschiebungen auch scharfe horizontale Fazieswechsel aufweisen (Abb. 6). Im linken Profilteil mit Fließmoräne wechseln sich bei allgemein sandiger Ausprägung lehmigere Abschnitte und rein sandige Partien ab. Die rechts anschließende, geschichtete glazifluviatil-glazilimnische Folge mit gefroren transportierten Tonfetzen weist ähnliche Wechsel der Kornverteilungen auf. Die geochemischen Parameter bestätigen diese Gliederung mit hohen Siliziumgehalten über 90% in der glazifluviatil-glazilimnischen Wechselfolge sowie in den sandigen Abschnitten der Fließmoräne.

Mit einer mindestens 2 m mächtigen, kalkfreien und skelettarmen Fließmoräne wird im Profil Hirschfelder Heide 1 in der oben beschriebenen Armeestellung eine ähnliche Situation erkennbar (Abb. 7). Sie folgt im Liegenden einer periglazialen Deckserie, deren Basisbereich von einer Steinsohle (Erosionsdiskordanz?) gebildet wird. Alle beteiligten Sedimente weisen eine prinzipiell sandige Tendenz auf, wobei der linke obere Abschnitt mit seiner makroskopisch deutlichen Wechsellagerung als Fließmoräne im engeren Sinne angesprochen wurde. Die Texturanalysen bestätigen diese interne Gliederung, wobei die Gesamtelementverteilungen jedoch relativ homogen ausfallen. Die horizontalen Übergänge werden wiederum von Fazieswechseln bestimmt, wobei offenbar wie schon in Prötzel, Toteissetzungen eine Rolle spielten.

Gamengrund und Teufelsgründe als typische glaziale Rinnen

Der Gamengrund verbindet als tiefste und längste Rinne des Barnims die Hirschfelder Heide mit dem Fuchsberg-Maxberggebiet im Norden. Die von WINIARSKI (1965) vor

Abb. 8

Steile Schichtverstellung am Rand der Rinne Teufelsgründe bei Beiersdorf (zur Lage vgl. Abb. 5)

Fig. 8

Steep inclination of the bedding of the glacial channel Teufelsgründe next to Beiersdorf (for position see figure 5)



Abb. 9

Makrokryoturbationen von Profil Beiersdorf (zur Lage vgl. Abb. 5)

Fig. 9

Large cryoturbation structures of section Beiersdorf (for position see fig. 5)

allem kartographisch begründeten glazifluviatilen Abflussniveaus konnten mit feinen geschichteten Schmelzwassersanden in eigenen Grabungen und Handbohrungen am Rand des Gamengrundes bestätigt werden. Aufgrund fehlender Aufschlüsse konnten die steileren Abschnitte des Gamengrundes nicht genauer untersucht werden, weshalb die benachbarten Teufelsgründe als exemplarischer Vertreter herangezogen werden.



Vor allem die saalezeitlichen Geschiebemergel (Bussemer 2003) weisen bei ihrem Ausstreichen am Rinnenrand deutliche Verstellungen auf. Ihr Abkippen in die Rinne weist auf eine spätestens saalezeitliche Entstehung der Grundform mit zeitweiliger Toteisblockierung hin. Der weichselkaltzeitliche Hangendkomplex in den glazialen Rinnen besitzt einige Besonderheiten, welche ihn von den Sedimentfolgen der Moränenplatten und der Niedertaulandschaften unterscheiden (vgl. auch Bussemer 1993b, 2003). Eine zentrale Stellung nehmen dabei Verstellungen an den Rinnenrändern ein, welche nur auf das Toteisaustauen im ausgehenden Weichselspätglazial zurückgeführt werden können (vgl. Abb. 8). An den daraus resultierenden steilen Hängen wurden Makrokryoturbationen (Abb. 9) beobachtet, die wohl durch den gleichzeitigen Permafrostzusammenbruch begünstigt wurden (vgl. EISSMANN 1981).

Niedertaulandschaft um Fuchsberg und Maxberg

Vom Wurzelbereich des Gamengrundes aus lassen sich Richtung Nordosten mit dem Maxberg und dem Fuchsberg im Hohenfinower Wald die letzen markanten Erhebungen des Barnims vor seinem Abfall zum Eberswalder Urstromtal beobachten. In diesem isoliert vom übrigen Waldhügelland liegenden Gebiet ähneln die Vollformen morphologisch den vorangehend beschriebenen Kames der Hirschfelder Heide (BUSSEMER & MICHEL 2006). Die flachen Hügel mit willkürlicher Grundfläche werden von sowohl von terrestrischen Ebenen als auch von flachen vermoorten Niederungen umgeben.

Der eine Höhe von 90 m erreichende Fuchsberg ist aus geschichteten Schmelzwassersanden aufgebaut. Die Entkalkungsgrenze liegt hier bei 3,5 m, wobei die Kalkgehalte selbst im Kern des Hügels unter 1% bleiben. Die von der Sohle der Fuchsberggrube bis auf 3,6 m in Sanden abgeteuften Bohrungen erreichten den im Liegenden vermuteten Geschiebemergel nicht. Vor allem im Kuppenbereich werden die mächtigen Schmelzwasserablagerungen zum Hangenden hin von einer dünnen Moräne begrenzt. Sie zeichnet sich durch eine sandige Matrix, einen erhöhten Geschiebegehalt sowie Kalkfreiheit aus. An den Rändern löst sie sich in sandig-lehmige Braunbänder auf. Sowohl die Sedimentationsposition als auch die oben beschriebenen makroskopischen Merkmale dieser Schicht sprechen für eine Ablationsmoräne. Unabhängig vom Vorkommen der Ablationsmoräne bedeckt ein Geschiebedecksand mit Steinanreicherung (vgl. Abb. 10) als periglazialer Leithorizont den gesamten Hügel.

Abb. 10 Schichtenfolge von Profil Fuchsberg P2 (zur Lage vgl. Abb. 5) Fig. 10 The stratigraphic sequence for profile Fuchsberg P2 (for position see fig. 5)





Schichtenfolge von Profil Försterei (zur Lage vgl. Abb. 5) Fig. 11

The stratigraphic sequence for profile Försterei (for position see fig. 5)

Neben der Form ähnelt damit auch der geologische Bau des Fuchsberges den Kames der Hirschfelder Heide (vgl. BUS-SEMER & MICHEL 2006). Hier wie dort fielen bei den Kartierungen keine Toteisabschiebungen auf, was aber an den fehlenden Großaufschlüssen liegen könnte.

Im Vorfeld des Fuchsberges wurden nahe der Försterei Hohenfinow bis zur Endteufe von 5,00 m Schmelzwasserablagerungen erbohrt, welche jedoch keinen klassischen Sander darstellen. Hierbei handelt es sich anfänglich um wechselkörnige Sande, die ab einer Teufe von 1,20 m bis 5,00 m in eine Wechsellagerung mit tonigen und kalkhaltigen Bändern übergehen (Abb. 11). Diese teilweise schon rhythmisch gelagerten glazilimnischen Sedimente erreichen in ihren feineren Partien Kalkgehalte bis zu 10%. Ihre Sedimentation erfolgte vermutlich in einem großen See, dessen Grundfläche der flachen Senke südlich des Fuchsberges entspricht.

Resultierend stellt das Fuchsberg-Maxberg-Gebiet demnach keine echte glaziale Serie, sondern eine Niedertaulandschaft ähnlich der Hirschfelder Heide dar. Neben den zentralen Kames sind es hier weitflächige Seebecken, welche im Gegensatz zu den Kamesterrassen der Hirschfelder Heide (vgl. BUSSEMER & MICHEL 2006) in randlichen Positionen auftreten.

Moränenplatte am Nordostrand des Barnims bei Hohenfinow

Nördlich des vorangehend beschriebenen, etwa 3 km breiten sandigen Fuchsberg-Maxberg-Gebietes setzt sich die Grundmoränenlandschaft bis zum Barnimrand bei Hohenfinow fort. Sie zeichnet sich hier durch ein leicht welliges Relief mit markanten Toteislöchern aus, in welchen sich teilweise noch kleine Tümpel erhalten haben.

Eine dieser Hohlformen wurde bis auf eine Teufe von 7,00 m durchbohrt, wobei im Hangendbereich eine periglaziale Deckschicht fehlt (Abb. 12). Anstelle dessen setzen sofort kalkhaltige geschichtete Sande wechselnder Körnung ein, die bis in eine Teufe von 3,60 m reichen. Bis 7,0 m folgt ein mächtiger homogener Geschiebemergel, der bei 4,25 m eine deutliche Farbänderung von braun zu grau-blau aufweist (MUNSELL 2,5Y8/4 zu 2,5Y5/1). Mit stark lehmigen Sand besitzt er eine für die weichselzeitlichen Geschiebemergel typische Textur, welche deutlich bindiger als in den oben besprochenen Ablations- und Fließmoränen ist. Gleichzeitig lässt sich sowohl in seinen Korngrößenanalysen als auch in den Gesamtelementgehalten eine Homogenität feststellen, welche den Hangendschichten fehlt. Geschiebezählungen ordnen den Geschiebemergel in seiner gesamten Mächtigkeit eindeutig der Weichselvereisung zu (Probe 9 in Tab 1).

Im Weiteren belegte ein dichtes Bohrprofil in der welligen Umgebung des Toteislochs durchgehend söhlig lagernde Grundmoränen unter dünnen periglazialen Deckserien. Der obere, etwa 4-6 dm mächtige Moränenabschnitt (Geschiebelehm) ist entkalkt und deutlich verlehmt. Der mächtige Geschiebemergel weist Kalkgehalte zwischen 6–13% auf. Stellenweise wurden bis zu 0,6 m starke Sandeinschaltungen festgestellt. Innerhalb der Bohrungen wurde gewöhnlich ein Farbumschlag von braun zu grau (Munsell 2,5Y8/6 zu 2,5Y6/1) sichtbar, der vermutlich auf reduzierende Bedingungen im Grundwasserbereich zurückzuführen ist. Die Kleingeschiebezählungen ergeben jedoch wie im Toteisloch durchgängig ein weichselzeitliches Spektrum (vgl. Proben 7a, 7b und 8 in Tab 1).

Abb. 13

Schematisiertes Geologisch-morphologisches Profil über den NE – Barnim mit Verbreitung der wichtigsten Moränentypen

Fig. 13

Schematized geological cross section across the NE-Barnim with spreading of the most important till types





Description, grain size analysis and chemical analytics of drilling kettle hole Hohenfinow

NNE

SSW



Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge 1-2007

Zusammenfassung

Auf dem Barnim im Nordosten Brandenburgs unterscheiden sich klassische Moränenplatten deutlich von den Niedertaulandschaften (Abb. 13). Induziert durch starke Glazitektonik im Mittelpleistozän, lassen sich die jungpleistozänen Sedimente wie auch der resultierende Formenschatz der Niedertaulandschaften zu einer eigenständigen Abweichungsform von der glazialen Serie zusammenfassen. Sie wird im oberflächennahen Untergrund regelhaft von dünnen Ablationsmoränen und Fließmoränen sowie einem vielfältigen und mächtigen glazifluviatilen bis glazilimnischen Komplex gebildet. Im Relief dokumentieren sich ihre Besonderheiten in einer Kames-Kamesterrassenlandschaft, welche in unregelmäßige Becken übergehen. Häufig ist die Niedertaulandschaft mit den durch das Toteistieftauen geprägten glazialen Rinnen vergesellschaftet.

Summary

On the Barnim, in Brandenburg's northeastern region, the classical moraine landscape distinguishes itself clearly from that of the fluvio-glacial marginal zone. Induced by means of strong glacial-tectonic processes during the middle Pleistocene, the young Pleistocene sediments and the resulting associated fluvio-glacial marginal zone landscape forms can be characterised as an independent variation of the glacial series. This can be identified by means of ablation tills and flow tills, as well as by a multifaceted thick glacifluviatil to glacilimnic complex located in the subsoil close to the surface. This distinction can be topographically identified by means of a kame- and kame-terrace-landscape merging into irregular basins. More than often, the fluvio-glacial marginal zone is associated with glacial channels.

Literatur

- ANONYMUS (1925): Geologische Übersichtskarte der Umgebung von Berlin (Hochschulexkursionskarte Nr. 1). -Preuß. Geol. Landesanstalt, Berlin
- BOULTON, G. S. (1968): Flow tills and related deposits on some vestspitsbergen glaciers. J. of Glaciology 7, S. 391-412, Cambridge
- BUSSEMER, S. (1993a): Genese, Verteilungsmuster und Stoffbestand periglaziärer Deckserien auf dem Barnim. - Diss. Math.-Nat. Fakultät der Humboldt-Univ. zu Berlin, 200 S., Berlin (unveröff.)
- BUSSEMER, S. (1993b): Besonderheiten der Substrat- und Pedogenese in glazialen Rinnen auf dem Barnim – eine Fallstudie am Beispiel der Teufelsgründe. - Berliner Geogr. Arb. **78**, S. 54-67, Berlin

- BUSSEMER, S. (1994): Geomorphologische und bodenkundliche Untersuchungen an periglaziären Deckserien des Mittleren und Östlichen Barnim. - Berliner Geogr. Arbeiten **80**, S. 1-145, Berlin
- BUSSEMER, S. (2002): Quartäre Entwicklung und Gliederung der Binnenentwässerungsgebiete auf der Barnimhochfläche (NE-Brandenburg). - Greifswalder Geogr. Arb. **26**, S. 23-26, Greifswald
- BUSSEMER, S. (2003): Teufelsgründe glaziale Rinne. In: Schroeder, J. H. (Hrsg.): Führer zur Geologie von Berlin und Brandenburg Nr. 9: Oderbruch – Märkische Schweiz – Östlicher Barnim. - S. 305-309, Berlin
- BUSSEMER, S. (2005): Die Braunerde in ihrer nordbrandenburgischen Typusregion. - Brandenburg. geowiss. Beitr. **12**, S. 3-12, Kleinmachnow
- BUSSEMER, S. & J. MICHEL (2006): Die Hirschfelder Heide als typische Niedertaulandschaft des nordöstlichen Barnims.
 Brandenburg. geowiss. Beitr. 13, S. 27-34, Kleinmachnow
- Серек, A.G. (1994): Stratigraphie und Lithofazies. In: J. H. Schroeder (Hrsg.): Führer zur Geologie von Berlin und Brandenburg: Nr. 2: Bad Freienwalde – Parsteiner See. - S. 26-39, Berlin
- EISSMANN, L. (1981): Periglaziäre Prozesse und Permafroststrukturen aus sechs Kaltzeiten des Quartärs. - Altenburger Naturwiss. Forsch. 1, 127 S., Altenburg
- FRANZ, H.-J., SCHNEIDER, R. & E. SCHOLZ (1970): Erläuterungen für die Kartenblätter Berlin-Potsdam und Frankfurt-Eberswalde. - In: Gellert, J. F. & E Scholz: Geomorphologische Übersichtskarte 1 : 200 000. - S. 9-45, Gotha

HANNEMANN, M. (1970): Grundzüge der Reliefentwicklung und der Entstehung von Großformen in Jungmoränengebieten Brandenburgs. - Peterm. Geogr. Mitt. **114**, S. 103-116, Gotha

- HANNEMANN, M. (2003): Regionale Vorkommen und Lagerungsverhältnisse der quartären Einheiten. - In: Schroeder, J. H. (Hrsg.): Führer zur Geologie von Berlin und Brandenburg Nr. 9. - S. 35-46, Berlin
- LEMBKE (1940): Deine Deutsche Heimat. Erläuterungen und Deckblätter zur Karte des Deutschen Reiches 1 : 100 000
- LUCKERT, J. & H. U. THIEKE (2000): Der Mineralbestand brandenburgischer Grundmoränen als lithostratigraphischer Indikator – erste Ergebnisse der Röntgenphasenanalyse der Tillmatrix < 63 µm. - Brandenburg. geowiss. Beitr. 7, 1/2, S. 101-113, Kleinmachnow

- NITZ, B. (2004): Landschaftsentwicklung. In: Schroeder, J. H. (Hrsg.): Führer zur Geologie von Berlin und Brandenburg Nr. 5. - S. 47-65, Berlin
- MUNSELL SOIL COLOR CHARTS (1994): Revised Edition, New Windsor
- SCHLAAK, N., LUCKERT, J., STRAHL, J. & H. U. THIEKE (2006): Die Entwicklung von Ackerhohlformen im Jungmoränengebiet nordöstlich von Berlin – neue Befunde von einem Soll bei Seefeld/Werneuchen. - Tagungsband und Exkursionsführer 73. Tagung der AG Norddeutscher Geologen 06. - 09. Juni 2006 in Halle, S. 37-38, Halle
- STRAHL, J. (2006): Bericht zur pollenanalytischen Untersuchung von 29 Proben aus dem Soll Kleiner Wendtsee (Land Brandenburg). - Bericht LBGR, 5 S., Kleinmachnow (unveröff.)
- TGL 25232 (1971): Fachbereichsstandard Geologie Analyse des Geschiebebestandes quartärer Grundmoränen. – Berlin
- THIEKE, H. U. (2007): Schriftliche Kurzmitteilung aus dem LBGR vom 05.04.2007. 1 S., Kleinmachnow
- WINIARSKI, H. (1965): Vergleichende Betrachtungen der periglazialen Talbildung im Alt- und Jungmoränenland am Beispiel des Fläming und der Barnimhochfläche nördlich von Berlin. - Diss. Humboldt-Univ. zu Berlin. - 235 S., Berlin (unveröff.)

Anschrift der Autoren: Prof. Dr. Sixten Bussemer Dipl.-Geogr. Jürgen Michel Lehrstuhl Geoökologie und Bodengeographie Institut für Geographie und Geologie Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald Friedrich-Ludwig-Jahnstr. 16 17489 Greifswald

Dr. Norbert Schlaak Dipl.-Geol. Joachim Luckert Landesamt für Bergbau Geologie und Rohstoffe Brandenburg Bereich Geologie Stahnsdorfer Damm 77 14532 Kleinmachnow

Mitteilung aus dem Landesamt No. 214

Geowissenschaftler Berlin - Brandenburg

... und immer wieder am 1. Mai, diesmal im Hohen Fläming

JOHANNES H. SCHROEDER

Die Geowissenschaftler in Berlin und Brandenburg e. V. haben die erste gemeinsame Exkursion am 1. Mai 1990 erleben können, somit war 2007 die achtzehnte fällig. Als Ziel wurde der Hohe Fläming ausgewählt, und dabei gleich eine zweifache Grenzüberschreitung nach Sachsen-Anhalt eingeplant.

Das Symposium zur informativen Vorbereitung wurde wie schon letztes Jahr bei und mit der Gesellschaft für Erdkunde veranstaltet; da entwickelt sich eine gute Zusammenarbeit! Für den traditionellen Blick in den tieferen Untergrund (auch da wo man nichts davon sieht) konnte Dr. C. H. Friedel vom Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen Anhalt gewonnen werden. Er promovierte vor Jahren an der TU Berlin, erlebte dort das Geschehen der Wende und hatte damals wichtigen Anteil am Aufeinander-Zugehen west- und ostdeutscher Kollegen. Zusammen mit unseren Brandenburger Tiefenspezialisten, Dr. J. Kopp und Dipl.-Geol. M. Göthel, bot er einen höchst informativen, aktuell illustrierten Überblick. Dipl. Geoln. A. Hermsdorf behandelte Wirkungen aus der Tiefe, in dem sie die Salzstellen in Brandenburg vorstellte (und gleichzeitig unsere Salzstellen-Exkursion zum Netzener See und Rietzer See am 09.06.2007 vorbereitete). Prof. B. Nitz hatte für uns die Erkenntnisse über Relief und Relief-Genese des Fläming seit dem Saale-Glazial zusammengetragen und Dr. O. Juschus referierte morphologische Beobachtungen, die nahe legen, dass das weichselzeitliche Inlandeis noch über seine heute allgemein angenommene Randlage hinaus nach Süden vorstieß.



Kieselgurgrube Klieken im Hohen Fläming Foto: D. Kühn

Auch das Klima kam nicht zu kurz: Dr. A. Brande präsentierte Befunde zur spätpleistozänen-holozänen Vegetations-Entwicklung, insbesondere mit neuen Erkenntnissen zu den Mooren im Hohen Fläming.

Unsere Exkursion führte zunächst nach Klieken in Sachsen-Anhalt. Die lange Anfahrt nutzte Dr. O. Juschus für die Kommentierung der geomorphologischen Situation. In Klieken ging es um das holstein-zeitliche Kieselgurvorkommen, in dem 1838 erstmals C. Ehrenberg die Diatomeen beschrieben hat und das heute immer noch bzw. wieder abgebaut wird. Dr. A. Hesse (Dessau) und S. Wansa (Halle) erläuterten im Tagebau dessen geologischen Rahmen sowie seine Schichtenfolge. Sie zeigten Rasterelektronenmikroskopbilder der Kieselalgen-Skelettreste wie auch ein eigens aufgeschürftes Profil im ehemaligen Nordteil der Grube. An letzterem machten sie deutlich, dass dort auch heute noch Forschungsbedarf besteht. Sodann zeigte uns Dipl.-Geol. N. Hermsdorf die Brautrummel, ein landschaftlich sehr attraktives, anthropogen entstandenes mittelalterliches Trockental, an und in dem sich trefflich wandern und picknicken lässt (auch ohne Exkursion zu empfehlen!). Hier scheint mit dem Schollenstein, einem Gesteinsblock am Rummelrand, eine interessante kleine Fallstudie zur Lithifizierung auf Bearbeitung zu warten. Weiter ging es zum Quellhangmoor bei Egelinde, wo Dr. A. Brande uns die gemeinsam mit M.-S. Rohner erarbeiteten Feinheiten der Moorentwicklung demonstrierte. Hitzebedingte Waldbrandgefahr erzwang leider den Verzicht auf die Kiesgrube Niemegk; dadurch gewannen wir aber für die vorher besuchten Punkte zusätzliche Möglichkeiten zu ausgiebiger Betrachtung und Diskussion. So schlägt der Tag insgesamt für über 70 Teilnehmer als Erlebnis intensiven und gehaltvollen Austausches zu Buche. Für dessen Vorbereitung und Durchführung wird allen Beteiligten hier gerne noch einmal gedankt!

Es kam natürlich schon die Frage: Ist das nun der Bereich für einen zehnten "Führer zur Geologie von Berlin und Brandenburg"? Im Prinzip schon - aber bei allem Respekt für die Arbeiten von Brunner (Potsdam) und der HU Kollegen aus den 1950/60er Jahren - es gibt dort vieles, was auf den heutigen Stand der Forschung gebracht werden müsste und einiges, was neu zu bearbeiten wäre! Infolge der vielfältigen Reduzierungen an Universitäten und Institutionen (manche reden da tatsächlich von "Reformen") gibt es heute praktisch nur noch wenige kleine Arbeitsgruppen, schon gar nicht mehr solche vom Kaliber der legendären Gruppe im Institut für Geographie der HU in der DDR und der unmittelbaren Nachwendezeit. Die verbliebenen Gruppen könnten sich vielleicht wichtigen Einzelfragen, nicht aber der Gesamtschau eines solchen Gebietes annehmen. Besonders nach einem so herrlichen Exkursionstag kann man das nicht einfach nur schade finden!

Anschrift des Autors: Prof. Dr. J. H. Schroeder TU Berlin, Institut für angewandte Geowissenschaften II Ernst-Reuter-Platz 1 10587 Berlin

Glaziäre Kleinsenken des Potsdamer Gebiets

Glacial kettle holes of Potsdam Region

ROLAND WEISSE

1. Ausgangssituation, Aufgabenstellung

Oberflächlich abflusslose Kleinsenken sind immanenter Bestandteil weichseleiszeitlicher Landschaften. Obwohl die Einzelform kleinflächig ist, bestimmt sie bei häufigem Auftreten die Landschaftsphysiognomie, im Gebiet des Brandenburger Stadiums vorwiegend der Sand-Kies-Landschaften (Döberitzer Heide; bei Kloster Lehnin vgl. WEISSE 2004; bei Dobbrikow; nördlich Beelitz). In Nordgebieten Brandenburgs, z. B. in der Uckermark, und in Mecklenburg-Vorpommern, kehrt sich das Verhältnis zugunsten der Grundmoränensenken in mächtigen Basaltillen (Geschiebemergeln) um ("Sölle-Landschaften", LIPP 2006). In Mecklenburg-Vorpommern treten Tille von zwei Glazialen (W2 und W3) auf, bei Potsdam handelt es sich meist um geringmächtigen W1-Till. Senken treten auch in Altmoränengebieten auf (Letzlinger Heide, vgl. WEISSE 1987a; im Fläming u. a. HERMSDORF et al. 2007). Wie bezeichnet man jedoch die Glazialgenese der Kleinsenken von Altmoränengebieten (vgl. GARLEFF 1968)?

Die vorliegende Arbeit schließt an eine ältere Veröffentlichung an (WEISSE 1987a). Das Anliegen dieses Beitrages besteht darin, in der Literatur behandelte Senkenaspekte zu eiszeitlichen Bildungsprozessen und Begriffen im Überblick zu skizzieren und auf Probleme hinzuweisen. Eindeutige Begriffsanwendung und differenzierte Genesevorstellungen sind für die Lösung ökologischer Aufgaben von großer Bedeutung. Daraus ergibt sich die Forderung, Baustile glaziärer Kleinsenken vielfältiger und komplexer darzustellen und zu erforschen. Daher ist die Kleinsenkenuntersuchung stets als Einheit von äußeren (Reliefmerkmalen und -strukturen) und inneren, bestimmenden Strukturen (Geneseart, Sedimente, Lagerungsweisen) aufzufassen, diese Betrachtungsweise wird hier praktiziert.

Die glaziären Senkentypen des Potsdamer Gebiets werden zur besseren Übersicht in Tabellen und graphischen Modellen vorgestellt. Um den Zugang zur komplizierten Senkengenese zu erleichtern, werden u. a. die glaziär-prozessual geprägten räumlichen Verteilungsmuster von Senken sowie Grundrisse und Größe oberirdischer Einzugsgebiete in Kartenskizzen zum Vergleich beigefügt. Einige Schnittaufnahmen verdeutlichen typische Senkenbaustile, weitere befinden sich in WEISSE 1987a, morphographische Aspekte behandelte auch HAUBOLD (1983). Diese Senkenbetrachtung möge anregen, der komplexen eiszeitlichen Senkenentstehung künftig die gleiche Aufmerksamkeit zu schenken, wie der holozänen Hohlformenforschung. Auf einige Unterschiede zu Mecklenburg-Vorpommern wird hingewiesen.

Geologisch gesehen sind jungglaziale Senken meist von kurzer Lebensdauer. Nachdem die meisten durch Toteis(tief)tauen im Weichselspätglazial und zu Beginn des Holozäns morphologisch sichtbar wurden, unterlagen sie Nachrutschungen, z. T. periglaziärer Teilverfüllung sowie limnischer Sedimentation, Verlandung und dem Eintrag erodierten Bodens. Die morphologische Lebensdauer von Kleinsenken beträgt daher nur 15 bis 20 000 Jahre. Da bereits etwa 12 000 Jahre verstrichen sind, verbleiben für Jungmoränensenken nur noch wenige tausend Jahre. Diese Zeit wird vom Menschen extrem verkürzt (vgl. KLAFS & LIPPERT 2000), selten verlängert, z. T. mit negativen biound geoökologischen Auswirkungen.

Seit mehr als 100 Jahren gibt es Genesevorstellungen zu Kleinsenken, einst nichteiszeitlich (vulkanisch, Erdfälle), später eiszeitlich, durch Evorsion, Erosion, Toteisverschüttung und Nachsackung gedeutet (u. a. GEINITZ 1879, 1880, SPETHMANN 1912, WUNDERLICH 1917, RÖPKE 1929). Mitte des 19. Jh. kamen periglaziäre Deutungen hinzu (TROLL 1962). Den Begriff Soll als wissenschaftlichen Terminus technicus führte GEINITZ ein (1879, 1880). RÖPKE verfasste eine grundlegende Arbeit zur Senkenentstehung ebener und flachwelliger Grundmoränen Mecklenburgs. Danach entstanden Senken durch in mächtigen Geschiebemergeln eingeschlossenes Gletschereis. Auf Seite 29 beschrieb er den Grundtyp des mecklenburgischen Solls und gab mit der Intramoräneneis-Schmelztheorie eine plausible Erklärung, die manche Kleinsenke glazialgenetisch überzeugend deutet. Allerdings wird mit dieser Theorie, dem Einbettungssediment Geschiebemergel (Setztill) und weichselspätglazialen sowie holozänen Verlandungssedimenten Mudde und Torf nur ein, wenn auch bedeutender, subaerisch abflussloser Kleingewässertyp mecklen- und nordbrandenburgischer Grundmoränen erklärt. KLAFS et al. (1973) ergänzten die von Röpke definierte glazigene Sollgenese, indem sie anthropogene Einflüsse berücksichtigten. Sie unterschieden neben typischen (ausgereiften) auch ertrunkene und verdeckte Sölle. Welcher Glazialgenese die durch mittelalterliche Landnahme und Ackerkultur beeinflussten Mulden mit wasserführenden "künstlichen Söllen" (JANKE & JANKE 1970) bzw. Pseudosöllen sind, beschrieben KLAFS et al. (1973, S. 294) sowie KLAFS & LIPPERT (2000, S. 65) ungenau. Diese liegen ihrer Meinung nach in deutlichen Geländedepressionen. Wie entstanden jedoch diese Mulden?

Glazialmorphologie und -geologie beschäftigen sich meist mit großen Negativformen, wie See- und Beckenformen, deren Genese sich von Kleinsenken unterscheiden kann. Kleinsenken sind, von Ausnahmen abgesehen, glazialgenetisch wenig detailliert erforscht, so dass Gestaltbeschreibungen, Begriffsirritationen, Modellannahmen und/oder Pauschaldeutungen begünstigt werden, fehlerhafte Senkenrenaturierungen sind nicht auszuschließen. Auf weitere notwendige Forschungen machte WILHELMY (1975, S. 99) aufmerksam: "Sölle: Rundliche steilwandige Kuhlen, deren Entstehung bisher nicht befriedigend geklärt ist, werden als subglaziale Strudellöcher oder Toteiskessel gedeutet ...". Auch DREGER (2002, S. 91) bemerkte: "Gerade bei Zusammenhängen zwischen der Ausprägung der biologischen Vielfalt an Söllen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Landschaftsräumen besteht noch ein großes Wissensdefizit." Und jüngst forderte LIPP (2006, S. 291) eine "weitere anwendungsorientierte Erforschung der Sölle".

Wodurch erklärt sich der Kenntnisrückstand zur glaziären Senkenentstehung? Während Bohrungen seit Jahren erfolgreich zur Erfassung holozäner Senkensedimente und zur Lösung holozän-sedimentär-stratigraphischer und biologischer Aspekte eingesetzt werden, gibt es Schwierigkeiten bei der Interpretation und Korrelierung präholozäner Schichtfolgen. Sichere Kenntnisse zur Kleinsenkenentstehung und begriffliche Präzisierung glazialgenetischer Senkenaspekte sind jedoch Voraussetzung für die Erstellung exakter Bilanzen von Energie- und Stoffflüssen sowie für anthropogene Eingriffe, Biotopvernetzungen (u. a. LAND-GRAF, L. & P. NOTNI 2003). Trotz mancher Vorteile hat der Einsatz von Bohrungen den Nachteil, dass mehrere Schnittkonstruktionen möglich sind und kleine, für Stoffflüsse bedeutungsvolle Lagerungsstrukturen und lithologische Änderungen der Kleinsenken nicht erfasst werden. Mühevoll sind ferner Schürfe und Aufgrabungen, zumal sie sich wegen Wasser und Torfmoor auf Senkenränder beschränken müssen, so dass man sich auch hypothetischer geologischgeomorphologischer Modelle (vgl. KAISER 2001, S. 23) bedienen muss. Dabei bleiben Fragen unbeantwortet, so z. B. bei PETERSS et al. 2002). Wodurch erklären sich die Schichtwasserpfade zwischen Söllen, durch Lithologie und/oder Strukturen/Lagerungsweisen der Geschiebemergel? Wie gestaltete sich die glaziäre Sollanlage? Auch SCHINDLER beurteilte seine Aussagen kritisch (1996, S. 43: "Offen bleiben des weiteren die Fragen, ob das versickernde Wasser als Grundwasserneubildung anzusehen ist, wie die Pfade zum Grundwasserleiter verlaufen und in welchem Umfang die Grundwasserspeisung erfolgt. Ebenfalls konnte nicht

schlüssig nachgewiesen werden, ob und in welchem Umfang Wasser und Stoffe aus dem Soll tiefenverlagert werden." SCHULZKE (2002, S. 176) bewertet den Einfluss des Reliefs auf den Wasserhaushalt einer Senke weniger kritisch. Nach SCHMIDT (1994) sind aber exakte Aussagen zu Wasserpfaden ohne Kenntnis aller hydrologisch relevanten Einflussfaktoren schwer möglich. Auch die von KALETTка & Rudat (2006) ausgewiesenen hydrogeomorphologischen Kleinsenkentypen würden an Aussagekraft gewinnen, wenn sie durch eiszeitliche Geneseinterpretationen begründet werden. Durchgehende Transsektaufnahmen, kombiniert mit Bohrungen, spiegeln eben glaziäre Senkenbaustile komplexer und realitätsnäher wider. Lithologischstrukturelle Schnitte veröffentlichten u. a. STAHR et al. 1983, KEDING & STRAHL 1996, KAISER et al. 2000, PETERSS et al. 2003, BERGER & NEHRING 2002, KRIENKE et al. 2006 sowie SCHLAAK et al. 2006.

2. Begriffssituation

Kleinsenken werden von zahlreichen wissenschaftlichen und volkstümlichen Begriffen abgebildet. Die Volkssprache kennt Pfuhle, Kuhle, Tümpel, Weiher, Fenn bzw. Sal (wend., russ. zalivnoij - überflutet). Weitere Bezeichnungen beziehen sich auf Nutzung (Schafstränke), Farbe (Schwarzer ...), Form (Trog-), Wasser (See-, Spring-), Personen (Schulzen-, Knechte-), Tiere (Fuchs-, Kranich-) oder Vegetation (Birkpfuhl, Fenn). Bio- und geowissenschaftliche Senkenbegriffe sind ebenso zahlreich wie die Senken selbst: Soll (echtes, glazigenes, künstliches Soll, Sölle, Söller, Sollrinne, Brillensoll; Einsturz-, Ausspar-, Strudelund Eindruckssoll; Feld- und Waldsoll; begrabenes Soll, Pseudosoll); Toteissenke und -loch; Eiszeitsenke, Auftauund Austausenke, Kleinhohlform, Kolk; Kessel, Kesselsee, Kesselmoor. Englischsprachige Fachbegriffe sind kettle, kettle hole, kettle lake, sinkhole, pothole, hollow, pond, ice pit, depressional wetland. Im Russischen taucht häufig der Begriff termokarstovaja vpadina auf (Thermokarstsenke, periglaziär und glaziär definiert, KOTLJAKOV 1984, S. 456). Üblich sind auch soll, voronka mjortvowo lda, lednikovaja voronka, kotlovina provalnaja. Kritisch betrachtet, spiegeln manche Begriffe die Kleinsenkenentstehung ungenau wider.

Außerdem strapazieren nicht wenige bio- und geowissenschaftliche Lehr-, Studien- und Fachwörterbücher die Kleinsenken-Begriffe Soll und Toteis, ohne die Entstehungsart im konkreten Fall eindeutig zu umreißen. So nimmt der Toteisbegriff eine Schlüsselstellung ein. Inhaltlich wird er vielfach weit gefasst, einerseits dient er zur Erklärung der Entstehung von Senken glazifluviatiler Sande (z. B. Kamesoder subglazifluviatile Rinnen-Senken), andererseits ist er Synonym für Sölle, also Senken in glazigenen Sedimenten. Tatsächlich spielte Toteis bei Senkenbildungen eine große Rolle: außer begrabenem führte jedoch auch unbegrabenes Tot- bzw. Stagnationseis zur Senkenanlage. Manche Autoren bezeichnen alle Senken als Sölle, unabhängig von Entstehungsart und Einbettungssediment, Wasser so-



Abb. 1

Verschiedene charakteristische Verteilungs- und Grundrissmuster sowie Größe glaziärer Kleinsenkentypen und ihrer oberirdischen Einzugsgebiete; Genese nach Geländeaufnahmen, Topographie nach TK 1 : 10 und 1 : 25. Seitenlänge je Beispielareal etwa 1,5 x 2,5 km (vgl. Tab. 1 und 2)

Rücken: Stauchungs-, Pressungs- oder Injektions-Rücken, z. T. oberirdische Wasserscheiden, 70 - Höhenzahl m ü. M. Fig. 1

Various characteristic patterns of distribution, ground-plains and size by glacial kettle hole-types. Length of area 1,5 x 2,5 km ridge: different from origin, flat ridge, water parting, 70 m above sea level

Tab. 1	Glaziäre Kleinsen	ikentypen des	Potsdamer	Gebiets
--------	-------------------	---------------	-----------	---------

Tab. 1Types of glacial kettle holes of Potsdam Region

Eisbilanz	N>A	N=A	N <a< th=""></a<>				
Dynamik	Aktiver Gletscher	Passiver Gletscher	Rückschmelzender Gletscher				
Gletscher Phase	Glaziations-Phase	Quasistationäre Phase	Deglaziations-Phase				
Senken- Haupttyp	1. Vorstoß-Senken	2. Meist Stillstands-Senken	3. Rückschmelz-Senken				
Glazidynamisch Grundmoränen	e Senken in Tills von (Sölle)	Glazifluviatile u. gravitative Senken (Glazikarst-)Senken) (keine Sölle)	Glazistatische Senken in Tills von Grundmoränen (häufig Sölle)				
Ohne Toteisbegr 1.1 Undations-, W Kompressions- 1.2 Exarative (Aus Mit Toteisbegral 1.3 Subtilleis-Sen 1.4 Intratilleis-Set (= Intramoräneneis-Set	r abung Fellungs- bzw. -Senken squetschungs-) Senken bung ken nken nken	 Mit Toteisbegrabung im Eisrandsaum 2.1 Sander-Senken 2.2 Satz- und/oder Ablations- endmoränen-Senken 	 Ohne Toteisbegrabung 3.1 Toteis-Auflast-(Belastungs-) Senken 3.1.1 Auflast-Flachsenken 3.1.2 Rand-Senken an Till-Diapir- Flachrücken (Kern-Oser) 3.1.3 Ringwall-Senken 				
Glazitektonische Erhebungen (se	Senken (überfahrener) elten Sölle)	Erosive und evorsive Rinnen- Senken verschiedener Landschaften (selten Sölle)	Glazifluviatile Senken verkarsteter Stagnationseisfelder (Senken in Umkehrlandschaften) (keine Sölle)				
Mit Toteisbegral 1.5 Stapelungs-Ser Grundmoräner 1.6 Stauchungs-Se 1.7 Stauchungs-Se hoher Durchsp 1.8 Stauchungs-Se Stauchendmor überfahren)	bung nken in nrücken nken hoher Grundmoränen nken ießungsrücken nken hoher änenrücken (nicht	 Mit Sturzeis plombiert 2.3 Subglazifluviatile Senken in Vorstoßlandschaften 2.4 Senken quasistationärer Eisfronten 2.5 Senken in/vor Niedertaulandschaften von Kame(s)platten von Schmelzwasserterrassen (Urstromtäler) 	Mit Toteisbegrabung 3.2.1 Kames-Senken 3.2.2 Innensander-Senken 3.2.3 Aufschüttungs-Os-Senken - in Niedertaulandschaften - in Grundmoränen 4. Anthropogene Senken 4.1 Senken beeinflusst, Torfabbau, Dränage, Renaturierte Senken 4.2 Senken (teil-) verfüllt 4.3 Anthropogene Senken Mergelgruben, Golfplatz-Seen 5. Sonderformen				

wie Weichselspätglazial- und Holozänsedimente werden in diesen Fällen überbewertet. Sölle durch Tieftauen von Dauerfrostboden zu erklären (termokarstovaja vpadina), ist begrifflich unkorrekt. Denn nicht jedes Bodeneis stammte von einem Gletscher, wohl aber konnte Gletschereis auch als periglaziales Bodeneis auftreten.

Mehrdeutig werden auch einige Landschafts- und Substratbegriffe gehandhabt. So verwendet man Moränen- und Grundmoränen-Begriffe sowohl zur Gesteins- (Toteis-Verschüttung) als auch zur Bezeichnung glazialer Landschaften. Um Sinnverwechslungen von eiszeitlichen Sedimenten und Oberflächenformen zu vermeiden, sollte der Begriff Grundmoräne nur zur Landschaftsbezeichnung genutzt werden. Einbettungsgestein von (glazigenen) Söllen ist nicht Moräne, sondern Geschiebemergel (entkalkt Geschiebelehm). Denn der lithologische Moränenbegriff beinhaltet gemischte bis gut sortierte Körnungen sowie Schichtungslosigkeit oder Schichtung. Im Interesse eindeutiger, auch internationaler Verständigung sollte das glazigene Sediment daher als Till bezeichnet werden (vgl. PIOTROWSKI 1992, WEISSE 2001, LUKAS 2003/2004).

3. Die glaziäre Kleinsenkentypologie

Glaziäre Kleinsenken sind morphographische Konvergenzerscheinungen, die trotz gleicher oder ähnlicher äußerer Gestalt und Lage/Position glazialgenetisch unterschiedlich entstanden sein können. Unterschiedliche Entstehungsweisen erzeugen u. U. gleiches Relief, jedoch verschiedene Sedimente, Sedimentfolgen, Lagerungen, also unterschiedliche glaziäre Senkenbaustile mit typeigenen Abb. 2

Senkrecht zum Eisvorstoß streichende bodentrockene Stauchungs-Senke mit 100 m langer Sohle (27 m über Havelniederung) und 500 m langen Flachhängen, Einzugsgebiet in 57 bis 69 m ü. M. Zentrum hohe Glindower Grundmoränenplatte, 1983, TK 25, Blatt Werder, 3643 (vgl. Abb. 1, Typ 1.6)

Fig. 2

In centre of the high ground moraine plateau Glindow squeeze-up kettle holes exist. Former was active glacier. Kettle hole example is orientated perpenticular to direction of ice flow. The bottom ist 100 m long and relative high 27 m over Havel-river plain tract, the draindistrict between 57 and 69 m absolute altitude



Abb. 2.1

Aufnahmeschnitte am Senkenrand (1983, 1986); I-III Einengungsstörungen, IV auch Abschiebungen durch Tieftauen von eingestauchtem Toteis in verschiedenen Sedimenten

1 Basaltill, braun, 2 Basaltill, rötlich, 3 Lehmstreifen, Schluffe, 4 Sande, geschichtet, 5 Sande, ungeschichtet, an Oberfläche humos, 6 Kiese, 7 Abraum, 8 Störungen

Fig. 2.1

Cross sections in the westside of kettle hole (1983, 1986): I-III shows ice pressed structures, IV also collaps faults, built by melting of buried dead ice in various glacial debris.

1 basaltill, brown, 2 basaltill, red, 3 silts, 4 bedded sand, steeply inclined, 5 non bedded sand, 6 gravel, 7 mining dump, 8 dislocations



Abb. 2.2

Senkenrand mit Erosionsfurche, die auf Wasser sammelnder Tillschuppe ansetzt; Zuflusswasser versickert in bodentrockene Senkensohle. 1983

Fig. 2.2

The kettle east edge shows erosional channel, beginning on a little tillplain of a plantation. Waterflow infiltrated in the dry sandbottom to the groundwater in 20 m depth

Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge 1-2007



Abb. 2.3

Skizze morphologisch kaum erkennbarer begrabener Senken- (Ovale) und sehr flache Erhebungsreste (Strich mit Querstrich) in gestauchten Geschiebemergeln (weiß) und Sanden (punktiert); nordwestlich oben genannter Stauchungs-Senke, Aufnahme 1987

Fig. 2.3

Map of hardly discernible very flat kettle holes-rests (ovals), filled by sand, and flat ridges in squeezed-up tills and sands. NW of kettle hole, 1987

Migrationspfaden für Wasser und Schadstoffe. Dennoch ist die Erfassung morphographischer Senkenmerkmale und die Konstruktion topographischer Senkenprofile sinnvoll, wie Röpke (1929), GARLEFF (1968) und HAUBOLD (1983) belegen. Letzter klassifizierte im Potsdamer Jungmoränengebiet Senkensohlengrößen sowie Relief und Größe oberirdischer Einzugsgebiete und beschrieb den Einfluss geringer relativer Sohlenhöhe auf die Senkenfeuchte. Diese kann für die Ausbildung von Nasssenken sowie ständigen oder temporären Senkenüberflutungen bedeutsamer sein als die Größe oberirdischer Einzugsgebiete. Erklärt werden diese Fakten durch die Glazialgenese (abgesehen von Witterung bzw. Klima).

Die Autor-Typisierung der Kleinsenkenentstehungen und Senkenbegriffe beruht auf ausgewerteten Kartierungen von 2-5 m tiefen Leitungstrassen in Obst- und Ackerflächen sowie 4-10 m tiefer Abbaustellen und Baugruben, insbesondere oberflächennaher Schichten (WEISSE, Auswahl). Da jede Senke Teil eines größeren, analog gebauten Areals ist, kann man auch von Tagesaufschlussaufnahmen auf Baustile nahe gelegener Senken schließen. In den Vorschlag der glaziären Kleinsenkentypen gingen auch Anregungen aus Veröffentlichungen ein, u. a. zur glazialgenetisch bedingten Senkenanordnung (GRUNERT & JANKE 1981).

Obgleich die vorzulegende glazialgenetisch-topographische Kleinsenkentypologie wegen ihrer regionalen Ableitung inhaltlich unvollständig ist, verdeutlicht sie dennoch eine Entstehungsvielfalt. In der Praxis wird es nicht immer möglich sein, eiszeitliche Senkenschichten an querenden Trassen detailliert aufzunehmen, wie es dem Verfasser möglich war. Für diese Fälle hält der Typologievorschlag glazialgenetische Interpretationsvarianten bereit. Das Wissen möglicher glazialgenetischer Baustile hat heuristische Bedeutung für Wissenschaft und Praxis.

Um den vorgegebenen Rahmen nicht zu sprengen, werden periglaziäre Senkenbildungen, auch wegen zahlreicher Unsicherheiten, ausgeklammert. Lediglich zur Senkenbildung in Dellen und periglaziären Tälern liegen gesicherte Beobachtungen vor.

Nachfolgend einige Überlegungen:

a) Grundlage der glazialgenetischen Kleinsenkentypologie ist die klimatisch gesteuerte Eisbilanz und die davon abhängige Gletscherdynamik. Diese beeinflusste Energie/Kräfte, horizontale und vertikale Drücke bzw. Schübe, Gleiten und Faltung, Kompression und Extension, Last/Auflast und Entlastung, Geschwindigkeit und Dauer, u. a. glazigener und glazifluviatiler sowie glazilimnischer Stoffflüsse (Prozesse), modifiziert durch lokalspezifische notwendige und zufällige Bedingungen (angetroffenes Relief, Gletscherbett, Gestein, Schuttführung des Gletschers, verschiedene Tillmächtigkeit, -zusammensetzung und -struktur usw.). Die Gletscher machten in der Regel mehrere dynamische Phasen durch. Es sind die Vorstoßphase (positive Eisbilanz aktiver Gletscher), quasistationäre Eisfrontphase passiver Gletscher (fast ausgeglichene Eisbilanz) und Deglaziationsphase mit arealer Eisrückschmelze (negative Eisbilanz stagnierender, absterbender Gletscher und Toteisblöcke). Daraus ergeben sich drei Genesegruppen, die in verschiedene Typen unterteilt werden (Tab. 1). Ergänzt wird diese Systematik durch graphisch dargestellte topographische Merkmale ausgewählter Senken (Abb. 1), die in Tabelle 2 stichpunktartig erläutert werden.

b) Relativ häufig bildeten sich in Vorstoßphasen **Undations-** (bei Fahrland), **Ausquetschungs-** (nördliche Nauener Grundmoräne), **Subtilleis-** (Schmergow), **Stapelungs-** (bei

Tab. 2

Beschreibung äußerer Kleinsenkenmerkmale umfaßt Typbegriff, Strukturen, Anordnung, Häufigkeit, Tiefe, Hydrographie (vgl. dazu Abb. 1)

Tab. 2

Description of outside kettle holes features: type, structures, distribution, frequency, depht, hydrography (see Fig. 1)

	Vorstoß-Senken		Stillstands-Senken		Rückschmelz-Senken
1.1	Undations-Senken	2.1	Sanderwurzel-Senken	3.1.1.	Kleine runde Auflast-Senken
	Faltensättel (Rücken) und -mulden		Einzelne Eisblöcke,		regellos, netzartig, in Grundmoräne,
	(Senken) gerichtet, senkrecht zum		Dehnungsstrukturen, richtungslos,		an N-S streichendem, gepresstem
	Eisdruck, mäßig häufig, flach, nass		mäßig häufig, flach, trocken		Durchspießungsrücken exarativ
1.0					modelliert, häufig, flach nass, See
1.2	Kleine Exarations-Senken	2.2	Satz- und Ablationsendmoränen-	3.1.1.	Große Auflast-Senken
	gerichtet, Senkenachse senkrecht		Senken		Senkenachsen z. 1. gerichtet, in
	mäßig häufig flach pass See		Verschuttete Eiskerne,		Grundmoranen naung, markante
	mabig naung, nach, nass, see		Dennungsstrukturen, meist gerichtet		his mäßig tief nass. See
			flach bis mäßig tief trocken nass See		
12	Croße Everetions-Senken	23	Subglazifluviatile Rinnen-	311	Klaina Auflast-Sankan
1.2	gerichtet. Achsen senkrecht zum	2.5	Senken mit Basaltilldecke	5.1.1	beiderseits W-E streichendem, ge-
	Eisdruck, selten, flach nass, vertorft		überfahrener Rinnen von		stauchtem Durchspießungsrücken, im
			Grundmoränenrücken		N gerichtet, im S ungerichtet, häufig,
			gerichtet selten flach bis mäßig tief		flach, nass, See
			nass, See		
1.3	Subtilleis-Senken	2.5	Glazifluviatile Rinnen-Senken	3.1.1	Mittelgroße Auflast-Senken
	richtungslos, mäßig häufig,		nebeneinander in tiefem		teilweise asymmetrische Auflast
	flach, nass		Niedertaugebiet, umgeben von		(vgl. Abb. 3c), Abschiebungen, lokal
			Stauchendmoränen (W) und		steiler Senkenrand, lokal hohe
			Innensander (E), gerichtet, häufig,		Injektionsrücken, richtungslos, häufig,
15	Stonelungs Contron	25	Clariffunctile Dimon Sonhon	212	Dandaankan an Tilldianin
1.5	Till Fig Sand Stopal garightat	2.3	Glazinuvatile Kinnen-Senken	5.1.2	Kandsenken an Tindiapir-
	senkrecht zum Fisvorstoß hzw		zahlreiche kleine und einzelne große		Flachfucken
	parallel zur Stapelstirn, mäßig häufig		Toteisblöcke, gerichtet, häufig, flach		flach bis mitteltief nass trocken
	flach bis mäßig tief,		bis sehr tief, trocken, nass, See		nuch bis mitterier, nuss, rocken
	nass, See				
1.6	Stauchungs-Senken hoher			3.2.2	Kamesterrassen-Senken im
	gestauchter Grundmoränen				Rückland von Flächensander
	verschiedene Einengungsstrukturen,				richtungslos, häufig, flach bis mäßig
	ideal ausgerichtet, Achse senkrecht				tief, trocken, nass; in Niederung nass,
	zum Eisdruck, haufig, flach bis				See
	mabig her, melst trocken				("Fauler See , Gränen, südlich Kirchmöser)
18	Stauchungs-Senken meist			323	Innensander-Senken
1.0	zwischen Stauchendmoränen-			5.2.5	Stagnationseisreste zwischen
	rücken hzw -wällen				inaktivem und aktivem Eisrand
	Verschiedene Einengungsstrukturen.				verschüttet, unregelmäßig, häufig,
	gerichtet, Achsen senkrecht Eisdruck				relativ große Einzugsgebiete, flach bis
	häufig bis selten (dann periglaziär				mäßig tief, trocken, bei Fließtill oder
	ausgelöscht), flach bis sehr tief, nass,				Periglaziallehmdecken nass, See
	bei Tillarmut meist trocken				
1.8	Kleine Stauchungs-Senken in			3.2.3	Senken (Osgräben) von
1	"kamesartigen"				Autschüttungs-Osern
1	Stauchungsrücken				Senken erosiv oder/und akkumulativ,
1	Einpressung vieler kleiner Eisblöcke				genentet, lang mäßig häufig
	und glazifluviatile Rinnen-Senken				flach bis mäßig tief, nass. See
1	richtungslos, sehr häufig, flach bis				
	mäßig tief, meist trocken				
5a	Senkenarme Grundmoränen	5b	Kleinsenke in periglaziären	5c	Periglaziäre Wintereis-Senken
1	Verfüllung durch periglaziären		Feinsand-Schluffkegeln		= Dellen-, Naledi-Senken
	Sedimenteintrag aus hohen		ehemals verschüttetes Winter- bzw.		gerichtet, häufig, sehr flach,
	Stauchendmoränen,		Aufeis an einem Grundmoränenrand		in Sandern trocken, in Grundmoränen
	richtungslos, flach,		vor Niedermoorniederung,		nass, See
1	temporar nass		selten, flach, temporär nass		

Markau; in Rosentahler Staffel, vgl. BERGER et al. 2002) und Stauchungs-Senken in Stauchendmoränen (Moosfenn, Senken westlich Vietznitz), auffallender Weise auch in hohen Grundmoränenplatten (Abb. 2 sowie WEISSE 1987a, Abb. 5 und 6). Da weichseleiszeitlicher Till unmittelbar hinter der Brandenburger Maximalrandlage fehlt bzw. geringmächtig ist, scheinen auch saaleeiszeitlich angelegte Senken oberflächenbildend zu sein (vgl. HERMSDORF et al. 2007 zu Senken im Fläming). In hohen Stauchendmoränenrücken des Potsdamer Gebietes überwiegen rollige Sedimente, während im Norden Brandenburgs und in Mecklenburg Tills häufiger und mächtiger sind. Die schmalen sandigen Stauchendmoränen des Potsdamer Gebietes sind auch auffallend senkenarm, periglaziäre Vorgänge hatten bestehende Hohlformen in Dellen einbezogen oder durch Sedimentation morphologisch ausgelöscht. Flächenaufnahmen in Grundmoränen belegen auch hier die Beseitigung zahlreicher Senken, die oft nur noch 0,5-1 m tief sind (vgl. Abb. 2.3).

c) An passiven Gletscherstirnen bildeten sich in Satz- und Ablationsendmoränen **Aufschüttungs-Senken**, und zwar durch ungleichmäßige Schuttablagerungen auf proglazialem Untergrund und/oder auf Stagnationseis- bzw. Toteisresten.

d) Auflast-Senken (Supratilleis-Senken) werden wenig beschrieben. Dabei wurde relativ früh erkannt, dass aktives und passives Eis im Gletscherbett Vertiefungen durch die eigene Last erzeugen kann. SPETHMANN (1912) sprach von "Eindruckssöllen" in Sandern, H. SCHÜTZE (bei RÖPKE 1929, S. 81) sah die Sölle eventuell als Druckstellen einzelner auf der Grundmoräne gelegener Toteisblöcke an, diese Auffassung bezweifelte Röpke. Nach BRAMER (1963, S. 431-432) quetschte der Belastungsdruck des Toteises ungefrorene, wasserspeichernde, plastische Liegendsedimente seitlich weg und hinterließ in Massendefizitarealen Osgräben. Auch REINCKE (2003, S. 113) bemerkte zu Osgräben: "Sie entstanden durch seitlichen Belastungsdruck des Eisgewölbes auf den Untergrund." Nach ZIERMANN (1974) stieg bei Bochow saaleeiszeitlicher Geschiebemergel in einem weichseleiszeitlichen spaltenreichen Toteisfeld empor. Auflastgeprägte Aufstiegssedimente und -strukturen erwähnt auch WEIsse (1975, 1987a, 2001). EHLERS (1994, S. 65) schrieb mit Hinweis auf eine Literaturquelle: "Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass beim Eiszerfall auch eine Aufpressung liegenden Materials stattfinden kann." DIENER (1961, S. 73) skizzierte die Druckverhältnisse eines Schmelzwasserkanals mit der "Aufpressung des Geschiebemergels durch Druck von unten, verursacht durch Auflast des Eises." HANNEMANN & KNAPE (1999, S. 63) sprachen ebenfalls von Aufstiegsstrukturen wassergesättigter mobiler Sedimente in Gletscherspalten von Toteislandschaften. Evans (2003) erwähnte Senkenwälle an der Basis von Gletscherhöhlenrändern. Doмкo & Kupetz (2006) belegten in Altmoränengebieten Senkenbildungen seitlich und zwischen Tondiapiren. Auch das von Peterss et al. (2002, S. 91) beschriebene Brillensoll könnte nach Autor-Auffassung auf Toteis- bzw. Stagnationsauflast zurückzuführen sein. Randpressungen und -wulste sprechen für diese Annahme.



Abb. 3

Modelle: Auflast-Senken durch Stagnations- und/oder nicht begrabenes Toteis in Tilldecken über Sanden und Schluffen (schwarz: Kolluvium)

- a) Geringe Auflast: Tilldecke am Senkenrand intakt
- b) Starke Auflast: Tilldecke am Senkenrand oder im Injektionsrücken unterbrochen
- c) Zerbrochener Eisblock führt zu unterschiedlichen Auflast-Senken; Senkenzentrum: Till vertikal versetzt, tiefer und flacher Senkenteil; Senkenrand: Injektiver Aufstiegsrücken verschieden hoch, ohne Tilldecke
- d) Till-Diapirismus mit Auflast-Randsenken (teils mit glazifluviatiler Sand-Kies-Schluff-Decke)

Fig. 3

Models: load kettle holes in till cover through stagnant and/or non-buried dead ice, till over sand and siltcovered by colluvium (black)

- a) Smal load: till cover intact
- b) Strong load: till cover broken in outside part of kettle hole or in uplift ridge
- c) Broken ice block and various load; Centre: till vertical with extension joints, deep and flat kettle part; Outside part: various high uplift ridge without till cover
- d) Till diapir with outside kettle holes (also with sandgravel-silt-cover)

Eigene Transsektaufnahmen belegen, dass während der Deglaziationsphase vorwiegend Stagnations- und Toteis-Auflast flache bis mäßig tiefe Senken verursachte, und zwar in welligen Grundmoränen und nicht nur als Randsenken von Aufpressungs-Osern. In Abhängigkeit von der Anzahl und Ausrichtung der Gletscherspalten ergaben sich verschiedene Eisblockgrößen bzw. -massen, die morphologisch und strukturell **unterschiedliche glazistatische (Auflast-) Senken verursachten** (Abb. 3, 4 und 5 sowie WEISSE 1987a, Abb. 4 und 7).

e) Wurde während der Deglaziationsphase viel Ablationsschutt und Schmelzwasser freigesetzt, lagerten sich Sande, Kiese und Schluffe, teils auch Fließtills auf, zwischen und in verkarstenden Eiskörpern ab. Aus verdeckten Eisklötzen gingen **Innensander**- (WEISSE 1987a, Abb. 11; südwestlich Potsdam, östliches Schollener Ländchen), **Kames**- (sehr häufig bei Kloster Lehnin, Caputh, nördlich Beelitz, z. T. Döberitzer Heide) und **Aufschüttungsos-Senken** (bei Potsdam selten) in den sogenannten Umkehrlandschaften hervor, die wegen meist fehlender Basal- bzw. Fließtills nicht zu Söllen gerechnet werden sollten.

- Abb. 4 Auflast-Senken und Randaufpressungen. Deetzer Grundmoräne
- Fig. 4 Load relief from kettle holes and flat uplift ridges. Deetzer ground moraine plain



Abb. 4.1

Flache Senke in geringmächtigem Setztill mit bewaldetem Injektionsrücken im Hintergrund, 1976

Fig. 4.1

Flat load kettle hole in 1 to 2 m lodgement till, filled with water and peat, in background a wooded uplift ridge



f) Toteis plombierte Kleinsenken treten in schmalen (50-200 m breiten) weichseleiszeitlichen subglazifluviatilen Rinnen auf (u. a. Wilhelmshorster, Seddiner und Caputh-Lienewitzer Rinnen, Rinnen im Stadtgebiet von Potsdam, Park Sanssouci und Wildpark sowie in der Döberitzer Heide). Sie entstanden durch dynamische Ungleichgewichtszustände von starker Schmelzwassererosion bzw. -evorsion und Sedimentakkumulation, daher fehlt gerichtetes Rinnensohlengefälle. Exzessive Erosion und Evorsion hinterließen 5-20 m tiefe Kleinsenken, die wegen Relief, Position, Hydrographie, Vegetation und Weichselspätglazial- sowie Holozänsedimentation hydrologisch-vegetationskundlich kleinflächige Kesselmoore darstellen können. Hinein gestürztes Gletschereis plombierte Senken vorübergehend. Spätere (glazifluviatile oder glazilimnische, bei erneuter Eisüberfahrung auch glazigene) Ablagerungen begruben diese Toteisblöcke, so dass die Hohlformen erhalten blieben (vgl. WEISSE 1987a, Abb. 10 sowie WEISSE 2001).



Abb. 4.2

Am Senkenrand aufgepresste schluffige Feinsande, die 1-2 m mächtigen Setztill durchstoßen, 1976 Fig. 4.2 On kettle hole margin exists an uplift ridge, including steep collapsed fine sands and silts

Abb. 4.3

Auflast-Flachsenke Ökologie-widrig mit schluffigen Feinsanden zur Schaffung großer Obstanbauflächen verfüllt. Dennoch blieb die Senke nass, die Apfelbäume starben ab, 1976

Fig. 4.3

Flat load kettle hole with intact till cover non-ecologic man-made filling with fine sand and silt for a great acreage. The kettle hole kept at wet and the appletrees died off, 1976

g) Der Typologievorschlag schließt den eingebürgerten **Sollbegriff** mit ein. Lithologisch wird er jedoch enger gefasst als in vielen Veröffentlichungen gehandhabt. Nur in Geschiebemergel (Basaltill) eingebettete Kleinsenken werden als Sölle bezeichnet. Glazialgenetisch ist der Sollbegriff vielseitiger als bei RÖPKE (1929); Senkenentstehung in Tills erfolgte durch verschiedene glazidynamische Prozesse: Intratill- (im Potsdamer Raum wegen Geringmächtigkeit des Setztills selten ausgebildet: in Mecklenburg u. a. durch einstige Eisreste zwischen W2- und W3-Till) und Subtilleisgenese, ferner Exaration, Undation bzw. schwache Kompression, Stapelung, aber auch durch Glazistatik (Auflast bzw. Belastung) stagnierender, absterbender, vermutlich wenig Ablationsmoräne bildender Gletscher.

Fazit: Sölle sind in Tills der Grundmoränen (selten in Stauchendmoränen, zumindest im Darstellungsgebiet) eingelassene Senken, die durch (aussparendes) begrabenes Toteis im oder unter, in anderen Fällen durch Auflast von

Abb. 5 Diapir-Rücken mit Randsenken. Hohe Glindower Grundmoränenplatte
Fig. 5 Basalttill diapir and load kettle holes in Glindower high ground moraine plateau



Abb. 5.1

Etwa 10-20° streichender, 10 m hoher Diapir aus saaleeiszeitlichem Setztill, umgeben von gedehnten glazifluviatilen Sanden/Kiesen. Bochow, 1974

Fig. 5.1

Injective saalian till diapir, 10 m high, surrounded of glacifluviatil sand and gravel with many collaps faults, extension joints. Bochow, 1974

nicht begrabenem Stagnations- bzw. Toteis auf glazigenen Sedimenten entstanden. Im Weichselspätglazial und Holozän repräsentier(t)en sie oft Kleingewässer mit Muddeund Torfbildung. In glazifluviatilen Niedertausedimenten eingebettete (wasserführende, vertorfte) Senken sind nach Autor-Definition keine Sölle.

h) Glazifluviatile Niederungen, oft geprägt von braidedriver-Systemen, weisen zahlreiche periglaziär-fluviatile Kleinsenken auf. Diese sind u. a. in der Nutheniederung gestreckt und flach. (vgl. WEISSE 1987b, 2001, S. 141-150). Nach der Terminologie von Succow (1987) bzw. Succow & JOOSTEN (Hrsg.) (2001) wurden sie ab Weichselspätglazial von Versumpfungs- oder Durchströmungsmooren eingenommen.

i) Jeder Senkentyp ist Vertreter einer Gruppe, dem gleiche bzw. ähnliche glazialgenetische Merkmale eigen sind. Real können sich jedoch Senken gleichen glaziären Typs unterscheiden, und zwar durch Niedertausedimente (glazilimnische), periglaziäre (Solifluktionslehm, äolische Sande, Abrutschmassen während der Toteisschmelze) und/oder holozäne sowie anthropogene Einträge (vgl. WEISSE 1987a, Abb. 9, 10, 11 und 12). Manche Eiskeilpseudomorphosen durchbrechen geringmächtigen Setztill, eine Erscheinung, die hydrologisch relevant sein kann.

j) Ist die eiszeitliche Senkenentstehung unbekannt, sollte man neutral von **glaziärer Kleinsenke** sprechen.

Zusammenfassung

Das Interesse an Kleinsenken hat in den letzten Jahrzehnten aus ökologischen Gründen in Wissenschaft, Praxis und Bio-





Blick nach Westen in Randmulde und Senke sowie auf bewaldeten Diapir-Rücken im Hintergrund. Südlich Gr. Kreutz, 2007

Fig 5.2

View to west over a long depression with load kettle hole, in background a wooded diaper ridge. South from Gr. Kreutz, 2007

sowie Geotopschutz zugenommen. Während das Wissen zur holozänen Entwicklung von Senken erweitert wurde, ist der Kenntnisstand glaziärer Senkenentstehung lückenhaft. Eiszeitliche Hohlformenbildung wird vorwiegend auf Soll- und Toteisgenese beschränkt, dabei war sie wesentlich vielfältiger und differenzierter. Langjährige Kartierungen genetisch unterschiedlicher Grundmoränen-Senken für den Obstanbau und ausgewertete Veröffentlichungen erlauben, eine übersichtliche, differenzierte morphologisch-glazialgenetische Kleinsenkentypologie vorzulegen, die auf weichseleiszeitlicher Eisbilanz und Gletscherdynamik beruht (Vorstoß, Stillstand, Stagnation, areale Niedertauphase). Es besteht ein gesetzmäßiger Zusammenhang von äußeren und (bestimmenden) inneren Kleinsenkenmerkmalen, der sich in glaziären Baustilen äußert. Die im Hinterland der maximalen Eisrandlage des Brandenburger Stadiums gewonnenen Einsichten zur Senkenbildung werden textlich, tabellarisch und graphisch/modellartig charakterisiert.

Summary

Throughout the last decades the interest in the genesis of glacial kettle holes increased due to ecological reasons in science, agriculture, forestry as well as for the protection of biotops and geotops. Whereas the knowledge of the development of holocene kettle holes expanded the knowledge of glacial origin still is inadequate. To date the origin of glacial kettle holes is prevalent interpreted as soll and buried dead ice development, although its diversity in weichselian Potsdam region is much higher. Based on individual detailed mapping for farming and the analysis of different publications the author proposes a standardization method for glacial kettle holes for the young landscape surrounding Potsdam. Main criterions are ice balance, proportion of ice quantity to ice ablation quantity, and glacier dynamic: active/moving, passive/stationary and stagnant/dead ice. Various ice balance and glacier dynamic determined heterogeneous deposits and inside structures, also ouside features – characteristic patterns of distribution, ground plain and size by kettle holes, author be called glacial kettle hole styles. The attained results of the genesis of glacial kettle holes in the area of the Brandenburg stage are presented textural, tabularly and graphically.

Danksagung

Herzlich bedanken möchte ich mich bei Frau Dr. J. Strahl für die kritischen Hinweise, bei Herrn D. Mehlau für die graphischen Darstellungen sowie bei Frau Dipl.-Geophys. A. Andreae für das übersichtlich gestaltete Layout.

Literatur

- BERGER, J. & F. NEHRING (2002): Sedimentabfolge in einem Waldsoll - Ergebnisse von Rammkernsondierungen im Stauchendmoränenkomplex der Rosenthaler Staffel (Mecklenburg-Vorpommern). - Greifswalder Geographische Arbeiten **26**, S. 7-10, Greifswald
- BRAMER, H. (1963): Die Entstehung der Aufpressungen in Osern. - Report of the VIth International Congresss on Quaternary, Warszawa 1961. - Vol. III. Symposium on marginal glacial forms and deposits, S. 427-432, Lodz
- DIENER, S. (1961): Zeugen des Eiszeitalters im mittleren Brandenburg. - Natur und Heimat 10, S. 69-73, Leipzig (Urania)
- DOMKO, H. & M. KUPETZ (2006): Frostbeeinflusste Sedimentation und Deformation am Beispiel eines Tondiapirs im Vorfeld des Tagebaus Nochten (Freistaat Sachsen). Kame oder Diapir ? Die Eichbergstruktur von Nochten.
 Brandenburg. geowiss. Beitr. 13, 1/2, S. 35-47, Kleinmachnow
- DREGER, F. (2002): Sölle Bedeutung für die Biodiversität in Agrarlandschaften unterschiedlicher Landschaftsräume. - Beitr. Forstw. u. Landschaftsök. **36**, 2, S. 88-92, Berlin
- EHLERS, J. (1994): Allgemeine und historische Quartärgeologie. - 358 S., Stuttgart (Enke)
- Evans, D. J. A. (Hrsg.) (2003): Glacial Landsystems. 522 S., London (Edward Arnold)
- GARLEFF, K. (1968): Geomorphologische Untersuchungen an geschlossenen Hohlformen ("Kaven") des Nieder-

sächsischen Tieflandes. - Götting. Geogr. Abh. 44, 142 S., Göttingen

- GEINITZ, F. E. (1879): Beitrag zur Geologie Mecklenburgs I. - Archiv d. Vereins der Freunde der Naturgesch. Meckl. **33**, S. 209-306, Güstrow
- GEINITZ, F. E. (1880): Beitrag zur Geologie Mecklenburgs II. - Archiv des Vereins der Freunde der Naturgesch. Meckl. **34**, S. 155-176, Güstrow
- GRUNERT, S. & S. JANKE (1981): Sölle als Dokumente der Eisdynamik. - Z. f. angewandte Geologie 27, 1, S. 26-28, Berlin
- HAUBOLD, F. (1983): Glazialmorphologische Untersuchungen von geschlossenen Hohlformen im Jungmoränengebiet bei Potsdam. - Diss. Päd. Hochsch. Potsdam, Math.-Nat. Fak., Potsdam (unveröff.)
- HANNEMANN, M. & H. KNAPE (1999): Aufstiegsstrukturen im Grundmoränengebiet nordöstlich von Berlin. - Brandenburg. geowiss. Beitr. 6, 2, S. 59-64, Kleinmachnow
- HERMSDORF, N. STRAHL, J. & H. U. THIEKE (2007): Sölle im Altmoränengebiet ? - Tagungsband und Exkursionsf. 74. Tagung Arbeitsgemeinschaft Norddeutscher Geologen vom 29.05.-01.06.2007, S. 66-67, Hamburg
- JANKE, V. & W. JANKE (1970): Zur Entstehung und Verbreitung der Kleingewässer im nordostmecklenburgischen Grundmoränenbereich. - Archiv Natursch. u. Landschaftsf. **10**, 1, S. 3-18, Berlin
- KAISER, K., ENDTMANN, E. & W. JANKE (2000): Befunde zur Relief-, Vegetations- und Nutzungsgeschichte an Ackersöllen bei Barth, Ldkr. Nordvorpommern. - Bodendenkmalpflege in Mecklenburg-Vorpommern, Jb. [1999] 47, S. 151-180, Lübsdorf
- KAISER, K. (2001): Neue geomorphologische und pedologische Befunde zur jungquartären Landschaftsentwicklung in Mecklenburg-Vorpommern. - Greifswald. Geogr. Arb. 23, S. 7-41, Greifswald

KALETTKA, TH. (1996): Die Problematik der Sölle (Kleinhohlformen) im Jungmoränengebiet Nordostdeutschlands. - Natursch. u. Landschaftspfl. Brandenb., **5**. Sonderh., S. 4-12, Potsdam-Golm

- KALETTKA, TH. & C. RUDAT (2006): Hydrogeomorphic types of glacially created kettle holes in North-East Germany.
 Limnologica 36, 1, S. 54-64, Amsterdam
- KEDING, E. & J. STRAHL (1996): Pollenanalytische und karpologische Untersuchungen des Aufschlusses "Hölle" unterhalb Park Dwasieden (Halbinsel Jasmund, Insel

Rügen), Mecklenburg-Vorpommern. - Meyniana 48, S. 165-184, Kiel

- KLAFS, G. & K. LIPPERT (2000): Landschaftselemente Mecklenburg-Vorpommerns im hundertjährigen Vergleich. - Naturschutzarbeit in Mecklenburg-Vorpommern 43, 2, S. 58-65, Güstrow
- KLAFS, G., JESCHKE, L. & H. SCHMIDT (1973): Genese und Systematik wasserführender Ackerhohlformen in den Nordbezirken der DDR. - Archiv f. Natursch. u. Landschaftsf. **13**, 4, S. 287-302, Berlin
- KRIENKE, H.-D., STRAHL, J., KOSSLER, A. & H. U. THIEKE (2006): Strathigraphie und Lagerungsverhältnisse einer quasi vollständigen weichselzeitlichen Schichtenfolge im Bereich des Deponiestandorts Grimmen (Mecklenburg-Vorpommern). - Brandenburg. geowiss. Beitr. 13, 1/2, S. 133-154, Kleinmachnow
- KLERK, DE, P. (2006): A pollen diagram from the Teufelssee near Potsdam (C Brandenburg, NE Germany) from the legacy of Klaus Kloss. - Archiv f. Natursch. u. Landschaftsf. **3**, S. 23-36, Remagen-Oberwinter
- Kotljakov, V. M. (Hrsg.) (1984): Gljaziologitscheski slovar. (Glaziologisches Wörterbuch). - Gidrometeoisdat, 527 S., Leningrad
- LANDGRAF, L. & P. NOTNI (2003): Das Moosfenn bei Potsdam – Langzeitstudie zu Genese und Wasserhaushalt eines brandenburgischen Kesselmoores. - Telma 33, S. 59-83, Hannover
- LIPP, TH. (2006): Sölle in der Landschaftsplanung. Naturschutz und Landschaftsplanung **38**, 9, S. 287-292, Stuttgart
- LUKAS, S. 2003/2004: Moräne oder Till? Ein Vorschlag zur Beschreibung, Interpretation und Benennung glazigener Sedimente. - Z. Gletscherkd. u. Glazialgeol. **39**, S. 141-159, Innsbruck
- PETERSS, K., RATZKE, U. & J. STRAHL (2002): Geologie von Söllen bei Rosenow, Landkreis Demmin (Mecklenburg-Vorpommern). - Greifswald. Geogr. Arb. **26**, S. 91-95, Greifswald
- PETERSS, K., RATZKE, U. & J. STRAHL (2003): Geologie von Söllen bei Rosenow, Landkreis Demmin (Teil II). - Neubrandenb. Geol. Beitr. **3**, S. 113-120, Neubrandenburg
- PIOTROWSKI, J. A. (1992): Was ist ein Till? Faziesstudien an glazialen Sedimenten. - Die Geowissenschaften **10**, S. 100-108, Berlin
- REINCKE, J. (2003): Os von Rühlow. Exk. A 2. Tagungsb. u. Exkursionsf. 70. Tag. Arbeitsgemeinschaft Norddeut-

scher Geologen vom 10.-13.6. 2003 in Neubrandenburg, S. 111-123, Güstrow

- RÖPKE, W. (1929): Untersuchungen über die Sölle in Mecklenburg. Ein Beitrag zur Lösung des Sollproblems und zur Oberflächengestaltung Mecklenburgs. Mitt. Geogr. Ges. Rostock 18/19, S. 78-156, Rostock (ebenso bei G. G. Leopold's Univ. Buchhandlung)
- SCHINDLER, U. (1996): Untersuchungen zum Wasserhaushalt kleiner Binneneinzugsgebiete mit Söllen im Nordostdeutschen Jungmoränengebiet am Beispiel des "Breiten Fenn". - Natursch. u. Landschaftspfl. Brandenb., Sonderh. 5, S. 39-43, Potsdam-Golm
- SCHLAAK, N., LUCKERT, J., STRAHL, J. & H. U. THIEKE (2006): Die Entwicklung von Ackerhohlformen im Jungmoränengebiet nordöstlich von Berlin – neue Befunde von einem Soll bei Seefeld/Werneuchen. - Tagungsb. u. Exkursionsf. 73. Tag. Arbeitsgemeinschaft Norddeutscher Geologen vom 6. - 9. 6. 2006, S. 37-38, Halle /Saale
- SCHMIDT, R. (1994): Geologisch-morphologischer Bau und Vernässungsdynamik von Ackerhohlformen der Jungmoränenlandschaft. - Potsd. Geogr. Forsch. 9, S. 23-32, Potsdam
- SCHULZKE, D. (2002): Beziehung zwischen der Langzeit-Niederschlagsdynamik und dem Wasserhaushalt von Wald-Kesselmooren in Brandenburg mit Hinweisen zum Landschaftswasserhaushalt. - Beitr. Forstw. u. Landschaftsök. 36, 4, S. 175-177, Berlin
- SPETHMANN, H. (1912): Forschungen am Vatnajökull auf Island und Studien über seine Bedeutung für die Vergletscherung Norddeutschlands. - Z. Ges. f. Erdk. zu Berlin, Jb. **1912**, S. 414-433, Berlin
- STAHR, K., BÖSE, M., BRANDE, A., GUDMUNDSSON, TH. & M. LAUNHARDT (1983): Die Entstehung und Entwicklung des Lolopfuhls in Berlin-Rudow. - Sitzungsber. Gesell. Naturforsch. Freunde zu Berlin, N. F. 23, S. 95-150, Berlin
- Succow, M. (1987): Die Entstehung und Entwicklung der Moore der DDR. - Z. Geol. Wiss. **15**, 3, S. 373-387, Berlin
- SUCCOW, M. & H. JOOSTEN (Hrsg.) (2001): Landschaftsökologische Moorkunde. - 2. Aufl., 622 S., Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung)
- TROLL, C. (1962): "Sölle" and "Mardelles". Glacial and periglacial Phenomena in Continental Europe. Erdkunde 1, S. 31-34, Berlin
- WEISSE, R. (1975): Ergebnisse glazialmorphologischer und periglaziärer Untersuchungen bei Potsdam. - Exkursion III. Exkursionsführer Jubiläumstagung 100 Jahre Glazi-

altheorie im Gebiet der Skandinavischen Vereisungen. -Ges. Geol. Wiss., GGW, NKGW, Geogr. Ges. DDR, S. 47-75, Berlin

- WEISSE R. (1987a): Die glaziale Entstehung von Kleinsenken. - Peterm. Geogr. Mitt. **131**, 2, S. 103-111, Gotha
- WEISSE, R. (1987b): Zur Entstehung von Oberflächenformen und Sedimenten an der Fundstelle des Ur-Skeletts am Schlaatz bei Potsdam. - Veröff. Mus. Früh- u. Urgesch. Potsdam 21, S. 53-64, Potsdam
- WEISSE, R. (1990): Gesetzmäßigkeiten der vertikalen und horizontalen Verbreitung periglazialer Steinanreicherungen in den mittleren Glazialgebieten der DDR. - Z. Angew. Geol. 36, 8, S. 306-312, Berlin
- WEISSE, R. (2001): Oberflächennahe Glazialgeologie und Geomorphologie. - In: SCHROEDER H. J. (Hrsg.): Führer zur Geologie Berlin u. Brandenburg. Nr. 4: Potsdam u. Umgebung. - 2. erw. Aufl., Geowissenschaftler in Berlin u. Brandenburg e. V., S. 43-79 u. 108-200, Berlin
- WEISSE, R. (2003): Beiträge zur weichselkaltzeitlichen Morphogenese des Elbhavelwinkels. - Brandenb. Umwelt-Berichte, Schriftenr. Math.-Naturw. Fak. Univ. Potsdam 14, 112 S., Potsdam
- WEISSE, R. (2004): Weichselkaltzeitliche Vorstoß- und Deglaziationsformen der Lehniner Umgebung. - Brandenburg. geowiss. Beitr. 11, 1/2, S. 123-136, Kleinmachnow
- WEISSE, R. (2007): Glaziäre Kleinsenken. Genetischer Begriffs- und Typologievorschlag des Potsdamer Raumes. -Tagungsband und Exkursionsf. 74. Tagung Arbeitsgemeinschaft Norddeutscher Geologen vom 29.05. - 01.06.2007, S. 25-26, Hamburg
- WILHELMY, H. (1975): Geomorphologie in Stichworten. III. Exogene Morphodynamik. - 2. Aufl., Hirt Stichwortbücherei, 184 S., Berlin (Ferdinand Hirt)
- WUNDERLICH, E. (1917): Die Oberflächengestaltung des norddeutschen Flachlandes. Teil I: Das Gebiet zwischen Elbe und Oder. - Geogr. Abh. N. F. 3, 87 S., Berlin (Teubner)
- ZIERMANN, H. (1974): Ergebnisse quartärgeologischer Untersuchungen im mittleren Teil des Bezirkes Potsdam.
 Kurzreferate und Exkursionsführer. Exkursion A. Beiträge zum Quartär im mittleren Teil der DDR. Ges. f. Geol. Wiss., S. 14-37, Berlin

Außerdem wurden topographische und geologische Karten der Untersuchungsgebiete im Maßstab 1 : 10 000, 1 : 25 000, 1 : 100 000 und 1 : 300 000 herangezogen.

Anschrift des Autors: Prof. em. Dr. Roland Weiße Auf dem Kiewitt 27/41 14471 Potsdam

Landesamt

Jubiläen

Wir gratulieren sehr herzlich allen Jubilaren im Verbreitungsgebiet unserer Brandenburgischen Geowissenschaftlichen Beiträge und darüber hinaus. Wir wünschen Ihnen allen beste Gesundheit und sehr viel Vergnügen beim Studium der Beiträge dieses Heftes. Leider können wir nicht alle Jubilare namentlich ansprechen. Der besondere Gruß gilt daher stellvertretend den mit der brandenburgischen Landesgeologie besonders verbundenen Fachkollegen.

Wir beglückwünschen Herrn **Dr. Hans-Jürgen Teschke** sehr herzlich zur Vollendung seines 85. Lebensjahres. Herr Dr. Teschke hat sich während seiner Tätigkeit an der Akademie der Wissenschaften Berlin um die Erforschung der Norddeutschen Senke und ihres Vergleichs mit anderen großen Ablagerungsräumen sehr verdient gemacht.

Ihren 80. Geburtstag feierten die mit unserem Hause auch als Autoren sehr verbundenen Herren **Dr. Alfred O. Ludwig, Prof. Dr. Roland Weiße und Prof. Dr. Horst Brunner,** alle Potsdam; seinen 70. Geburtstag beging unser langjähriger Leiter der geologischen Landesaufnahme, Herr Dr. Fritz Brose und last but not least konnte unser verdienstvoller Chefredakteur der Brandenburgischen Geowissenschaftlichen Beiträge, Herr **Dr. Hans Ulrich Thieke,** seinen 65. Geburtstag begehen.

Allen genannten und nichtgenannten Jubilaren wünschen wir stabile Gesundheit und Wohlbefinden und weiterhin aktive oder konsumierende Freude an der brandenburgischen Landesgeologie.

Werner Stackebrandt

Ermittlung des Flurabstands des oberflächennahen Grundwassers in Berlin

Determination of the floor distance of shallow groundwater in Berlin

STEPHAN HANNAPPEL & ALEXANDER LIMBERG

1. Einleitung

Die Grundwasserstände in Ballungsgebieten unterliegen nicht nur naturbedingten Abhängigkeiten wie Niederschlägen, Verdunstungen, unterirdischen Abflüssen, sondern sie werden auch durch menschliche Einwirkungen – Grundwasserentnahmen, Versiegelung der Oberfläche, Entwässerung und Wiedereinleitung – stark beeinflusst. Hauptfaktoren bei der Entnahme sind die Grundwasserförderungen der öffentlichen Wasserversorgung und bei Baumaßnahmen. Zur Grundwasserneubildung tragen hauptsächlich Niederschläge, Uferfiltrat, künstliche Grundwasseranreicherung mit Oberflächenwasser und Wiedereinleitung von Grundwasser im Zusammenhang mit Baumaßnahmen bei.

In der Region Berlin-Brandenburg sind zumeist zwei Grundwasserstockwerke ausgebildet: Das tiefere führt Salzwasser und ist durch eine etwa 80 m mächtige Tonschicht von dem oberen süßwasserführenden Stockwerk hydraulisch – mit Ausnahme lokaler Fehlstellen der Tonschicht – getrennt. Dieses etwa 150 m mächtige Süßwasserstockwerk, das für die Trink- und Brauchwasserversorgung genutzt wird, besteht aus einer wechselnden Abfolge von rolligen und bindigen Lockersedimenten: Sande und Kiese (rollige Schichten) bilden die Grundwasserleiter, während Tone, Schluffe, Geschiebemergel und Mudden (bindige Schichten) Grundwasserhemmer darstellen.

2. Methodische Grundlagen zur Ermittlung des Flurabstandes

Die Oberfläche des Grundwassers wird in Abhängigkeit von dem meist geringen Grundwassergefälle und der Geländemorphologie in verschiedenen Tiefen angetroffen (s. Abb. 1).

Der Flurabstand (Grundwasserflurabstand) ist als lotrechter Höhenunterschied zwischen der Geländeoberkante und der Grundwasseroberfläche definiert (DIN 4049). Wird der Grundwasserleiter von schlecht durchlässigen, bindigen Schichten (Grundwasserhemmern, wie z. B. Geschiebemergel) so überlagert, dass das Grundwasser nicht so hoch ansteigen kann, wie es seinem hydrostatischen Druck entspricht, liegt so genanntes gespanntes Grundwasser vor.



Abb. 1 Begriffsbestimmung des Flurabstands bei ungespanntem und gespanntem Grundwasser Fig. 1 Definition of the floor distance under

Definition of the floor distance under tense und not-tense aquifer conditions In diesem Fall ist der Flurabstand als der lotrechte Höhenunterschied zwischen der Geländeoberkante und der Unterkante des grundwasserhemmenden Geschiebemergels definiert, der den Grundwasserleiter überlagert (Abb. 1). Die räumlich flächendeckende Kenntnis von Gebieten mit gespanntem Grundwasser ist also Voraussetzung zur Erarbeitung des flächendifferenzierten Flurabstands.

Die Flurabstandskarte gibt einen Überblick über die räumliche Verteilung von Gebieten gleicher Flurabstandsklassen innerhalb der Landesfläche von Berlin im Maßstab 1 : 50 000 (HANNAPPEL & KEILIG 2006). Auf die Darstellung des Flurabstands außerhalb der Stadtgrenzen musste zunächst verzichtet werden, da insbesondere Informationen zum Flurabstand des Grundwassers in Gebieten mit gespanntem Grundwasser im brandenburgischen Umland bisher flächendeckend nicht vorliegen.

Die Karte wurde auf Grundlage der Daten aus dem Zeitraum Mai 2006 berechnet. Sie hat für den jeweils oberflächennahen Grundwasserleiter mit dauerhafter Wasserführung Gültigkeit. Dies ist zumeist der in Berlin wasserwirtschaftlich genutzte Hauptgrundwasserleiter (GWL 2, LIMBERG & THIERBACH 2002), der im Urstromtal unbedeckt, im Bereich der Hochflächen jedoch bedeckt ist. In Ausnahmefällen wurde für die Ermittlung des Flurabstands der oberflächennahe Grundwasserleiter (GWL 1, z. B. im Gebiet des Panketals) bzw. der tertiäre Grundwasserleiter (GWL 4) herangezogen.

Von besonderer Bedeutung sind vor allem Flächen mit geringem Flurabstand (bis etwa 4 m). In Abhängigkeit von der Beschaffenheit der Deckschichten über dem Grundwasser können dort Bodenverunreinigungen besonders schnell zu Beeinträchtigungen des Grundwassers führen. Die Flurabstandskarte ist also eine wesentliche Grundlage für die Erarbeitung der Karte der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung (HEINKELE et al. 2003). Die räumliche Überlagerung der Flurabstände mit der Art der geologischen Deckschichten ermöglicht die Abgrenzung von Gebieten unterschiedlicher Schutzfunktionen der Grundwasserüberdeckung.

Die Kenntnis der Flurabstände ermöglicht des Weiteren eine Einschätzung, an welchen Standorten Grundwasser Einfluss auf die Vegetation hat. Dieser hängt von der Durchwurzelungstiefe der einzelnen Pflanze und – je nach Bodenart – vom kapillaren Aufstiegsvermögen des Grundwassers ab. Der so genannte Grenzflurabstand, bei dem Grundwasser bis zu einem gewissen Grad für Bäume nutzbar sein kann,



Abb. 2 Entwicklung des Grundwasserstands seit 1870 an der Messstelle 5140 in Mitte, Charlottenstraße Fig. 2

Development of the groundwater level at the groundwater measurement point 5140 in Mitte, Charlottenstraße since 1870

wird in Berlin im Allgemeinen mit 4 m angegeben. Die Vegetation der Feuchtgebiete ist in ihrem Wasserbedarf meist auf das Grundwasser angewiesen und benötigt einen Flurabstand von weniger als 50 cm.

3. Zeitliche Entwicklung der Grundwasserstände in Berlin

Bis zum Ende des neunzehnten Jahrhunderts unterlag der Grundwasserstand weitgehend nur den durch die Niederschläge hervorgerufenen natürlichen jahreszeitlichen Schwankungen. Ab 1890 bis zum Zweiten Weltkrieg prägten dann der steigende Wassergebrauch der rasch wachsenden Stadt sowie Grundwasserhaltungen das Geschehen. Große Grundwasserhaltungen für den U- und S-Bahnbau (Alexanderplatz) sowie andere Großbauten senkten das Grundwasser in der Innenstadt flächenhaft über längere Zeiträume um bis zu 8 m ab. Durch den Zusammenbruch der Wasserversorgung am Ende des Krieges erreichte das Grundwasser fast wieder die natürlichen Verhältnisse (Abb. 2).

In der Folgezeit, vom Anfang der 1950er Jahre bis Anfang der 1980er Jahre, wurde das Grundwasser durch steigende Entnahmen erneut kontinuierlich und großflächig abgesenkt. Besonders stark machte sich dieser Trend in den Wassergewinnungsgebieten bemerkbar. Neben dem allgemeinen Anstieg des Wassergebrauchs der privaten Haushalte wurde diese Entwicklung auch durch Baumaßnahmen verursacht (Wiederaufbaumaßnahmen, U-Bahn-Bau und große Bauvorhaben). Der Ausbau der Wassergewinnungsanlagen der kommunalen Wasserwerke war im Westteil der Stadt Anfang der 1970er Jahre abgeschlossen, während in Ost-Berlin zur Versorgung der neuen Großsiedlungen Mitte der 1970er Jahre mit dem Ausbau des Wasserwerks Friedrichshagen begonnen wurde.

Generell ist im Westteil Berlins bereits seit Ende der 1980er Jahre ein Wiederanstieg der Grundwasserstände zu beobachten. Ursache dafür waren in erster Linie drei gegensteuernde Maßnahmen wider den sinkenden Grundwassertrend:

- Die Erhöhung der künstlichen Grundwasseranreicherung durch gereinigtes Oberflächenwasser in wasserwerksnahen Gebieten (Spandau, Tegel und Jungfernheide) führte zu geringeren Absenkungsbeträgen (vgl. Karte 02.11).
- Die Wiedereinleitpflicht bei Grundwasserhaltungsmaßnahmen bei großen Baumaßnahmen führte zu einer geringeren Belastung des Grundwasserhaushalts.



Abb. 3 Grundwasseranstieg im Zeitraum von 1989 bis 2002 im Bereich des Urstromtals
Fig. 3 Increase of the groundwater surface between 1988 and 2002 in the area of the glacial valley

• Die Einführung des Grundwasserentnahmeentgelts bewirkte einen sparsameren Umgang mit der Ressource Grundwasser.

Insgesamt befand sich die Grundwasseroberfläche im Mai 2006 – wie auch in den letzten elf Jahren – auf einem relativ hohen Niveau. Grund dafür ist der rückläufige Wassergebrauch, der an der verringerten Rohwasserförderung der Berliner Wasserbetriebe abzulesen ist.

Nach der politischen Wende verringerte sich der Wassergebrauch drastisch. Dadurch stieg das Grundwasser bis in die Mitte der 1990er Jahre wieder an. Seitdem bewegt es sich relativ konstant auf hohem Niveau, ein weiterer Anstieg ist jedoch nicht zu erkennen. Fünf kleinere Berliner Wasserwerke stellten ihre Produktion in den Jahren von 1991 bis 1997 völlig ein. Die Gesamtförderung der Wasserwerke zu Trinkwasserzwecken sank innerhalb von 17 Jahren in Berlin um über 40 %: 1989 wurden 378 Mio m³, im Jahr 2006 dagegen nur noch 218 Mio m³ gefördert.

Der Rückgang der Grundwasserförderung der Wasserwerke in den östlichen Bezirken fiel mit über 60 % in diesem Zeitraum noch deutlich höher aus. Daraus resultierte ein stadtweiter Grundwasseranstieg seit 1989, der sich am stärksten im Urstromtal in der Nähe der Förderbrunnen der Wasserwerke mit ihren tiefen Absenkungstrichtern auswirkte. Das Ausmaß des flächenhaften Grundwasserwiederanstiegs in Berlin seit 1989 verdeutlicht Abbildung 3. Hier ist der Anstieg der Grundwasserstände im Urstromtal von 1989 bis 2002 dargestellt.

4. Datengrundlagen zur Ermittlung des Flurabstandes

Die Flurabstände wurden rechnerisch aus der Differenz zwischen der Geländehöhe und der Höhe der Grundwasseroberfläche bzw. der -deckfläche (bei gespannten Verhältnissen) ermittelt. Die Ermittlung der Grundwasseroberfläche basiert auf Daten von 1 456 Grundwassermessstellen des Landesgrundwasserdienstes von Berlin und von Wasserversorgungsunternehmen sowie des Landesumweltamtes Brandenburg aus dem Umland vom Mai 2006.

Die Geländehöhen wurden dem Höhenmodell des Umweltinformationssystems der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung entnommen. Dieses besteht für das Stadtgebiet



Abb. 4Grundwasserspannung sowie Datengrundlagen zur Ermittlung der GrundwasseroberflächeFig. 4Groundwater tension and data basis for the determination of the groundwater surface

sowie einen wenige Kilometer breiten Streifen im Umland aus 378 801 punktbezogenen Höhenangaben, die zu einem regelmäßigen Gitter mit einem Rasterabstand von 25 m umgewandelt wurden (HANNAPPEL & KEILIG 2006).

Zur Ermittlung der Grundwasseroberfläche wurden zahlreiche Hilfspunkte zu den Gewässerhöhen entlang der Oberflächenwasser in die Ermittlung der regionalen Verteilung der Grundwasseroberfläche einbezogen. Diese Hilfspunkte wurden ausschließlich in Gebieten ohne wasserwirtschaftlich induzierte Störungen verwendet, die sich in Berlin lediglich in den Außenbereichen (z. B. Dahme, Obere Havel) befinden. Hintergrund der Einbeziehung dieser Stützpunkte ist die angestrebte Vermeidung von errechneten Grundwasserständen über Flur entlang der Gewässer. Auch kleinere Fließgewässer, wie die Große Kuhlake im Spandauer Forst oder das Tegeler Fließ sowie das Neuenhagener Mühlenfließ (Erpe) wurden hierbei berücksichtigt.

Gebiete mit gespannter Grundwasseroberfläche in Berlin wurden unter Verwendung der digital vorliegenden Informationen zu den hydrogeologischen Schnitten des Geologischen Atlasses (SENSTADT 2005) von Berlin sowie ausgewählter Bohrungen des Bohrarchivs (Endtiefe > 10 m) ermittelt (Abb. 4). In diesen Gebieten wurden nicht die Wasserstände der Messstellen, sondern die Unterflächen der Grundwasserhemmer digital ermittelt.

Die bereits im Jahr 2003 im Rahmen der Bearbeitung der Übersichten zur Schutzfunktion der Grundwasserüberdekkung (HEINKELE et al. 2003) erstmals durchgeführte Herleitung der flächenhaften Informationen zur Grundwasserspannung für den Monat Mai 2002 basiert einerseits auf den zeitlich "invariant" vorliegenden Daten zur räumlichen Verteilung der Grundwasserleiter und -hemmer im Untergrund und andererseits auf den zeitlich varianten Daten zur termingebundenen freien Grundwasseroberfläche in Gebieten ohne hemmende Deckschichten des oberflächennahen Grundwassers. Da die Höhe der freien Grundwasseroberfläche in den zuletzt genannten Gebieten um mehrere Dezimeter bis Meter (in Abhängigkeit von den Zeiträumen, zwischen denen verglichen wird) variieren kann, ist es auch möglich, dass ein als "ungespannt" für den Zeitraum Mai 2002 markiertes Gebiet im Mai 2006 "gespannt" vorliegt und umgekehrt. Aus diesem Grund musste die oben genannte Analyse mit Hilfe der Informationen zum Grundwasserstand im Mai 2006 überprüft bzw. wiederholt werden. Das Ergebnis zeigt Abbildung 4 in flächenhafter Form.

Die Unterschiede im Ergebnis der Analyse der beiden Zeiträume sind mit 2 % mehr gespannten Gebieten landesweit nur geringfügig. Im Bereich des Barnims und auch auf der Teltow-Hochfläche im Süden sind einige Gebiete erkennbar, die 2002 als ungespannt und 2006 als gespannt ausgewiesen wurden. Der umgekehrte Fall ist am westlichen Rand des Panketals erkennbar, wo aktuell ungespannte Zustände ermittelt wurden. Das hängt hier mit einer zwischenzeitlich durchgeführten Modifizierung des Grenzbereichs des "Panke-GWL" zusammen.

5. Ermittlung der Grundwasseroberfläche

Zur Ermittlung der Flurabstände wurde zunächst aus den Daten der Grundwassermessstellen die absolute Höhe der freien Grundwasseroberfläche für den Monat Mai 2006 errechnet.

In Bereichen mit gespanntem Grundwasser wurden die Grundwasserstandsdaten der Messstellen durch die Stützpunkte ersetzt, die die Unterflächen der Deckschichten repräsentieren. Ein kleines Areal im Norden Berlins, wo die bindigen Bildungen des Rupeltons direkt an der Erdoberfläche anstehen (Umgebung des Ziegeleisees im Bereich der Ortslage von Hermsdorf bzw. Lübars) und somit kein nutzbarer Grundwasserleiter vorhanden ist, wurde von der Berechnung ausgenommen, hier wurden keine Flurabstände ermittelt.

Die Erarbeitung des einheitlichen Grids zur Grundwasseroberfläche aus der beschriebenen Datengrundlage geschah sukzessiv in mehreren Arbeitsschritten. Im Rahmen der Bearbeitung im Jahr 2003 hatte sich gezeigt, dass es durch die einheitliche Regionalisierung der gesamten Stützpunktbasis bestehend aus den Grundwasserständen in den ungespannten und den Stützpunkten zu den Unterflächen in den gespannten Gebieten – zu einer lokal z. T. weit reichenden Beeinflussung über die als signifikant erkannten Grenzlinien unterschiedlicher Spannungszustände hinaus kommen kann. Da an diesen Grenzlinien aber zumeist auch sehr große Unterschiede der Tiefenlage der Grundwasseroberfläche bestehen (auf der gespannten Seite der Grenze liegt die Oberfläche zumeist deutlich tiefer als auf der ungespannten Seite) führt das einheitliche Regionalisierungsverfahren hier zu unbefriedigenden Ergebnissen.

Aus diesem Grund wurde das geostatistische Kriging-Verfahren zur flächenhaften Ermittlung der Grundwasseroberfläche jeweils getrennt in ungespannten und gespannten Gebieten durchgeführt und anschließend die separaten Teil-Grids zusammengeführt. Hierdurch können die in der Natur vorhandenen und hydrogeologisch begründeten Differenzen bzw. "Sprünge" an den Grenzlinien der Grundwasserspannung besser abgebildet werden. Dies wirkt sich vor allem an den Rändern des Urstromtals zu den nördlich bzw. südlich angrenzenden Hochflächengebieten positiv aus, da es hier nicht mehr zu einem "Herabziehen" der Grundwasseroberfläche im ungespannten Bereich kommt.

Mit dieser aggregierten Datengrundlage wurde dann das Modell der Grundwasseroberfläche erstellt, das in Form von Isohypsen (Linien gleicher Höhenlage der Grundwasseroberfläche) sichtbar gemacht werden kann (Abb. 5). Zur Interpolation wurde eine Variogrammanalyse erstellt und das Kriging-Verfahren mit Hilfe des Programms Surfer in der Version 8.0 verwendet.

Die Übersicht zur Grundwasseroberfläche ist ein Zwischenergebnis im Sinne eines synthetischen Berechnungsergeb-



Abb. 5Grundwasseroberfläche in Berlin in m NHNFig. 5Groundwater surface in Berlin in m NHN

nisses. Die Darstellung und Interpretation dieses Zwischenergebnisses ist jedoch eine wichtige Plausibilitätsprüfung auf dem Weg zur Ermittlung des Flurabstands, da durch den Verschnitt mit dem Höhenmodell eine neue, unabhängige Information in das Modell integriert wird. Unklarheiten in diesem Verschneidungsergebnis können ihre Ursachen dann in Unplausibilitäten einer der beiden unabhängigen Informationen haben. Durch die Einbeziehung der Unterflächen der hemmenden Deckschichten zeigen sich die Bereiche, in denen die (gespannte) Grundwasseroberfläche unter mächtiger Geschiebemergelbedeckung in großen Tiefen liegt, sehr deutlich. Zugleich sind auch die "Sprünge" der Grundwasseroberfläche an den Rändern der Gebiete mit gespanntem Grundwasser gut erkennbar.

Auf dem Barnim befinden sich tiefe Bereiche insbesondere im nordöstlichen (Rosenthal) sowie im südlichen Randbereich (Lichtenberg) der Grundmoränenplatte. Hier liegt die gespannte Grundwasseroberfläche nahe bei bzw. lokal tiefer als 0 m NHN. Es sind zumeist auch diejenigen Gebiete, in denen kein quartärer Hauptgrundwasserleiter vorhanden ist. Die Grundwasseroberfläche wird hier durch die Unterflächen der quartären Geschiebemergel über den tertiären Grundwasserleitern gebildet. Innerhalb der gespannten Gebiete in Frohnau taucht die Grundwasseroberfläche hingegen nur auf etwa 15 m +NHN ab.

Der südliche Bereich der Teltow-Hochfläche ist durch Tiefenlagen der Grundwasseroberfläche von etwa 10 m +NHN geprägt. Im Bereich der Hochflächensande der Teltow-Hochfläche östlich der Havel sind auch sehr tiefliegende Bereiche erkennbar, lokal erreichen diese hier annähernd 0 Meter +NHN. Westlich der Havel ist dies auch der Fall, zumeist liegt die Grundwasseroberfläche in den gespannten Bereichen hier jedoch zwischen 10 und 25 m +NHN.

Die höchsten Lagen der Grundwasseroberfläche finden sich mit Höhen zwischen 55 und 60 m +NHN im nordöstlichen, ungespannten Bereich des Panketal in Buch an der Landesgrenze. Der ungespannte Bereich des Panketals tritt deutlich gegenüber den gespannten Gebieten in der Umgebung mit Höhenlagen der Grundwasseroberfläche von zumeist 40 bis 50 m +NHN in Erscheinung. An den Rändern des Panketals sind auch die größten "Sprunghöhen" der Grundwasseroberfläche mit lokal bis zu 40 m vertikaler Differenz auf wenige Hundert Meter in der Horizontalen erkennbar


Abb. 6Flurabstand des oberflächennahen Grundwassers in BerlinFig. 6Floor distance of groundwater near the surface in Berlin

(z. B. am östlichen Rand auf der Höhe von Blankenburg). Durch die zunächst getrennte und anschließend wieder aggregierte Berechnung der Grundwasseroberfläche konnte erreicht werden, dass hier keine gegenseitige – und in der Natur nicht vorhandene – Beeinflussung aufgrund der Regionalisierung entstanden ist.

Im Urstromtal zeigt sich ein kontinuierlicher Abfall der Grundwasseroberfläche in Fließrichtung der beiden für den Hauptgrundwasserleiter maßgeblichen Vorfluter Spree und Havel in Ost–West- bzw. Nord–Süd-Richtung. Dies entspricht dem hier flächendeckend vorhandenen hydraulischen Kontakt zwischen Oberflächen- und Grundwasser.

6. Ermittlung und Beschreibung des Flurabstands

Anschließend wurde aus dem Modell der Grundwasseroberfläche und dem Geländehöhenmodell ein Differenzmodell errechnet. Die Rasterweite betrug ebenfalls 25 m. Der Flurabstand des Grundwassers (Abb. 6) wurde in sieben Abstandsklassen eingeteilt und als Schichtstufenkarte ausgegeben. Um die Flurabstände vor allem in dem für die Vegetation wichtigen Bereich bis zu 4 m differenziert angeben zu können, wurde eine ungleichmäßige Klasseneinteilung gewählt.

Für kleinräumige Betrachtungsweisen ist es unter Verwendung kleinerer Rasterweiten bei der Interpolation mit den digital vorliegenden Ausgangsdaten möglich, genauere Ergebnisse zu erzielen, sofern die Datendichte des Höhenmodells dies zulässt. Auch die Klassengrenzen für die Flurabstandsklassen sind frei wählbar und liegen in den berechneten Gitterdaten dementsprechend mit diskreten Angaben vor.

Die Aussagegenauigkeit des Flurabstandsmodells ist unmittelbar abhängig von der Qualität des Höhenmodells, deshalb sind die dort angegebenen Modellfehler im Prinzip auch für die Flurabstandskarte gültig. Folgende Punkte sind bei der Interpretation zu berücksichtigen:

- Schmale Streifen an Gewässerrändern, die zum Teil Grundwasseranschluss haben, sind im Maßstab 1:50 000 nicht darstellbar,
- Das Höhenmodell weist aufgrund der Datenlage z. T.

Ungenauigkeiten auf. Dies betrifft einerseits Gebiete im Außenbereich (Wälder und landwirtschaftliche Flächen), in denen zu wenig Höhenpunkte vorlagen und andererseits Gebiete, in denen Höhenpunkte verwendet wurden, deren Zeitpunkt der Einmessung z. T. vor der Bebauung der Fläche liegt. Da im Rahmen der Baumaßnahmen aufgeschüttet wurde, sind einige in der Karte ausgewiesene Senken mit geringem Flurabstand eventuell nicht mehr vorhanden.

- In Bereichen, in denen Grundwasser unter mächtigem, schlecht durchlässigem Geschiebemergel ansteht und gespannt ist, ist von Flurabständen von mehr als 10 m, oftmals auch von mehr als 20 m auszugehen. Die Unterkante des Grundwasserhemmers wurde dort als Oberfläche des Grundwassers angenommen. Sandige Einlagerungen in und auf diesen Geschiebemergelschichten, in denen auch oberflächennah schwebendes Grundwasser auftreten kann, sind räumlich eng begrenzt, in ihrem Vorkommen kaum lokalisierbar und für die Flurabstandsermittlung nicht berücksichtigt.
- Im Nahbereich der Brunnen unterliegt die Grundwasseroberfläche je nach Förderleistung starken Schwankungen. Aus diesem Grunde können hier kleinräumig höhere Flurabstände auftreten, die in ihrer flächenmäßigen Ausdehnung im gewählten Maßstab ebenfalls nicht darstellbar sind.
- Es ist zu beachten, dass in der Flurabstandskarte nicht alle feuchten, für den Biotop- und Artenschutz potenziell wertvolle Flächen abgelesen werden können (Flurabstand < 1,0 m). Dies betrifft z. B. Flächen, die keinen Grundwasseranschluss besitzen und durch Stauwasser bzw. periodisch auftretende Überflutungen vernässt werden.

Jeweils etwa 20 % Flächenanteil nehmen die Flurabstandsklassen 2 bis 4 m, 4 bis 10 m, 10 bis 20 m und 20 bis 40 m ein. Grundwassernahe Gebiete mit Flurabständen < 2 m machen ca. 12 % der Fläche aus. Sehr hohe Flurabstände > 40 m treten nur vereinzelt an morphologischen Hochlagen in ca. 1 % der Fläche auf.

Im Urstromtal liegen die Flurabstände zumeist im Bereich von 2 bis 4 m unter Gelände. Flächen mit weniger als 2 m Flurabstand finden sich generell im Umfeld vieler Oberflächengewässer. Relativ große Flächen mit einem Flurabstand zwischen 1 und 2 m finden sich auch nördlich und südlich des Langen Sees sowie im Spandauer Forst, am Heiligensee östlich der Havel und nördlich sowie südlich der Rummelsburger Bucht.

Höhere Flurabstände (> 4 m) innerhalb des Urstromtals haben entweder morphologische Ursachen (z. B. Dünen im Tegeler Forst) oder sie liegen im Einflussbereich der Wasserwerksbrunnen, und sind hier durch die aktuelle Absenkung bedingt. Kleinflächig finden sich auch Bereiche mit erhöhten Flurabständen innerhalb des Urstromtals, in denen gespannte Grundwasserverhältnisse auftreten. Hier werden die Flurabstände durch die Unterkanten der Weichselmoräne im Hangenden des Hauptgrundwasserleiters (GWL 2) gebildet.

In den Hochflächenbereichen steigen die Flurabstände generell stark an. Sie liegen hier zumeist oberhalb von 10 m. Sehr markant zeichnet sich insbesondere der südliche Rand der Barnim-Hochfläche ab. Innerhalb des östlichen Bereichs der Barnim-Hochfläche treten vereinzelt in lokalen Senken Flurabstände von weniger als 10 m auf (z. B. im Gebiet um den Malchower See oder im Quellgebiet der Wuhle). Ansonsten dominieren hier jedoch Flurabstände oberhalb von 20 m, lokal auch oberhalb von 30 bzw. 40 m. Der nördliche Bereich des Barnims - getrennt durch den Taleinschnitt der Panke mit sehr niedrigen Flurabständen des oberflächennahen Grundwasserleiters (GWL 1) ist durch z. T. sehr hohe Flurabstände von bis zu mehr als 50 m geprägt. Hier erreicht die Grundmoräne sehr große Mächtigkeiten. Unterhalb der Moränenbildungen (stellenweise liegt die Weichsel- direkt auf der Saale-Grundmoräne) steht hier z. T. bereits der tertiäre Grundwasserleiter (GWL 4) an. Im Nordwesten (Frohnau) liegen die Flurabstände hingegen zumeist im Bereich von maximal 20 bis 30 m, im westlichen Bereich (Bieselheide) oftmals auch unterhalb von 20 Meter im hier ungespannten Bereich.

Innerhalb des Grunewalds sowie auch überwiegend westlich der Havel in Kladow und Gatow zeigen sich großflächig Flurabstände von mehr als 20 m. Hier bestehen überwiegend ungespannte Verhältnisse innerhalb der anstehenden Hochflächensande, die hohen Beträge werden durch morphologische Hochlagen verursacht (Teufelsberg, Schäferberg, Havelberge am Grunewaldturm), ebenso wie in den Müggelbergen.

Der westliche Bereich der Teltow-Hochfläche zwischen der Grunewaldseenkette sowie dem Teltowkanal ist durch stark wechselnde Flurabstände zwischen 5 m und 30 m geprägt. Hier bestehen auch heterogene regionale Verhältnisse in Bezug auf den Spannungszustand des Grundwassers. Südöstlich des Teltowkanals hingegen zeigen sich überwiegend Flurabstände oberhalb von 20 m in Gebieten mit gespanntem Grundwasser. Gegliedert wird dieser Bereich nochmals durch den Taleinschnitt des Rudower Fließes. Östlich hiervon finden sich in Bohnsdorf wieder Flurabstände von mehr als 20 m.

Im Vergleich mit den für Mai 2002 berechneten Flurabständen finden sich deutlich höhere Flurabstände ausschließlich in den gespannten Gebieten der Barnim- und der Teltow-Hochfläche. Das sind Bereiche, die im Mai 2002 aufgrund veränderter Grundwasserstände als "ungespannt" markiert waren und dementsprechend eine deutlich höhere Grundwasseroberfläche hatten.

Deutlich niedrigere Flurabstände finden sich hingegen überwiegend in den ungespannten Gebieten und ganz besonders deutlich an den Rändern zu den im Mai 2006 gespannten Gebieten. Dieser Effekt wird durch die aktuell getrennte Berechnung der Grundwasseroberfläche in gespannten und ungespannten Gebieten erreicht. Hierdurch wird sichergestellt, dass es zu keiner Beeinflussung außerhalb der gespannten Gebiete kommt. Besonders deutlich ist dies z. B. südlich des Teltowkanals in Adlershof am Rand zum Teltow erkennbar, wo aktuell Flurabstände von 1 bis 2 m, 2002 hingegen noch von mehr als 4 m errechnet wurden. Auch der Barnimrand (z. B. östlich der Wuhle oder westlich des Panketals) zeigt diesen Effekt deutlich.

Von diesen methodisch bedingten Änderungen abgesehen, zeigen sich im Vergleich zu Mai 2002 überwiegend nur geringfügige Abweichungen, die einen Meter Unterschied nicht übersteigen. Tendenziell sind die Flurabstände im Mai 2006 größer (bis 50 Zentimeter bzw. einem Meter), hier liegen die Ursachen im klimatischen Bereich aufgrund der im Mai 2006 im Vergleich zu Mai 2002 leicht gesunkenen Grundwasserstände.

Es treten jedoch auch Gebiete auf, in denen der Flurabstand um bis zu 50 cm bzw. 1 m abgenommen hat. Hierbei handelt es sich ganz überwiegend um die Innenstadtgebiete, in denen das Grundwasser neben den klimatischen Einflüssen auch anderen Einflüssen ausgesetzt ist. Diese Effekte können sich gegenseitig überlagern, so dass die Flurabstände im ungespannten Bereich des Urstromtals insgesamt gesehen im Vergleich der vier Jahre auf einem gleichbleibenden Niveau geblieben sind.

Zusammenfassung

Für den Monat Mai 2006 wurde für das Landesgebiet von Berlin der Flurabstand des oberflächennahen Grundwassers ermittelt. Hierfür war es methodisch bedingt zunächst notwendig, die Lage der Grundwasseroberfläche flächendifferenziert zu ermitteln. Anschließend konnte durch GIS-gesteuerte Differenzenbildung der als lotrechter Höhenunterschied zwischen der Geländeoberkante und der Grundwasseroberfläche definierte Flurabstand bestimmt werden. Die Grundwasseroberfläche wurde in ungespannten Gebieten anhand von über 1 000 gemessenen Grundwasserständen des Monats Mai 2006 aus Berlin und dem brandenburgischen Umland ermittelt. Gebiete mit gespanntem Grundwasser wurden anhand der in Berlin landesweit digital vorliegenden hydrogeologischen Schnitte sowie von Bohrungen erhoben. In diesen Gebieten dienten die Schichtunterflächen der Grundwasserhemmer als Datengrundlage zur Festellung der Grundwasseroberfläche. Da diese Informationen im brandenburgischen Umland nicht vorliegen, musste auf die Darstellung des Flurabstands außerhalb der Stadtgrenzen zunächst verzichtet werden. Sie kann z. B. innerhalb des Sonderblattschnitts Berlin nachgeholt werden, wenn die Informationen zur Grundwasserspannung in den brandenburgischen Anteilen vorliegen. Im Urstromtal liegen die Flurabstände zumeist im Bereich von 2 bis 4 m unter Gelände. Außerhalb davon steigen sie in Gebieten mit gespanntem Grundwasser auf Werte von bis zu mehr als 40 m an.

Summary

For the month of May 2006 the floor distance of shallow groundwater was determined for the territory of the federal state Berlin. Therefore it was methodically at first necessary to determine the position of the groundwater in subject to the differentiated ground properties. Afterwards, the floor distance defined as the perpendicular difference in height between the area upper edge and the groundwater surface could be determined by GIS-oriented differences. The groundwater surface was determined in the not-tense areas on the basis of over 1 000 measured groundwater levels of May 2006 from Berlin and his near surrounding countryside, in Brandenburg. Areas with tense aquifers were determined on the basis of the Berlin-wide digitally available hydraulic geological exposures as well as of geological drillings. In these areas the lower edge of the aquiclude served as data basis for the determination of the groundwater surface. Since this information in the surrounding countryside in Brandenburg is not present, the representation of the floor distance had to be first done only inside of the city boundaries. This can be reworked e.g. within the 'Sonderblattschnitt Berlin', if the information is available for the groundwater tension in the subarea of Brandenburgian surroundings. In the glacial valley the floor distances are mostly within the range of 2 to 4 m below floor. Outside of it they rise in areas with tensed groundwater to values of up to more than 40 m.

Literatur

- DIN 4049-3 (1994): Hydrogeologie Teil 3. Begriffe zur quantitativen Hydrogeologie. - DIN Deutsches Institut Datengrundlagen für Normung e. V., Berlin (Beuth)
- HANNAPPEL S. & I. KEILIG (2006): Erarbeitung der Karte zum Flurabstand des Grundwassers im Mai 2006. - Gutachten der HYDOR Consult GmbH im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, 35 S., Berlin (unveröff.)
- HEINKELE, T., HANNAPPEL, S., JAHNKE, C. & H.-J. VOIGT (2003): Erstellung von Karten zur Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung zur Erfüllung der gesetzlichen Aufgaben für die Europäische Wasserrahmenrichtlinie. - Gutachten der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin, 86 S., Cottbus (unveröff.)
- LIMBERG, A. & J. THIERBACH (2002): Hydrostratigraphie in Berlin – Korrelationen mit dem norddeutschen Gliede-

rungsschema. - Brandenburg. geowiss. Beitr. 9, 1/2, S. 65-68, Kleinmachnow

SENSTADT (2005): Geologischer Atlas von Berlin – Teil: Geologisch-hydrogeologische Schnitte. - SENSTADT, Daten der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (unveröff.)

> Anschrift der Autoren: Dr. S. Hannappel HYDOR Consult GmbH Am Borsigturm 40 13507 Berlin E-Mail: hannappel@hydor.de

Dipl.-Geol. A. Limberg Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz Brückenstraße 6 10179 Berlin E-Mail: alexander.limberg@senguv.verwalt-berlin.de

Hydrogeologie der "Vier bunten Seen" im Muskauer Faltenbogen

Hydrogeology of the "Four Coloured Lakes"

UTE BARON

1. Einleitung

Die "Vier bunten Seen" sind Braunkohlentagebau-Restgewässer der Grube "Elster bei Horlitza" im SE von Brandenburg. Sie liegen ca. 8 km NW von Bad Muskau entfernt, zwischen den Ortschaften Horlitza und Groß Düben im Muskauer Faltenbogen (Abb. 1). Der Faltenbogen ist eine bedeutende Stauchendmoräne, auf deren glazialtektonischen Schuppen-, Falten- und Diapirstrukturen (KUPETZ, A. et al. 2004, KUPETZ, M. 1997) zwischen 1843 und 1973 ein intensiver Braunkohlenbergbau im Tief- und Tagebaubetrieb umgegangen ist (SCHOSSIG & KULKE 2006). Heute stellt der Muskauer Faltenbogen eine gewässerreiche Altbergbaulandschaft dar. Die Anzahl stehender Gewässer im gesamten Faltenbogen beläuft sich schätzungsweise auf 300 bis 400, von denen 80 - 90 % bergbaulichen Ursprungs sind (Tagebaurestlöcher und wassergefüllte Bruchgebiete über Tiefbau). Auf seinem westlichen Bogen gibt es mehr als 120 stehende Gewässer, meist Kleingewässer (HEYM 1995). In den Urmesstischblättern von Döbern (HARTMANN 1845) und Weißwasser (HARTMANN 1823) waren in diesem Gebiet ca. 50 stehende Gewässer verzeichnet. Davon waren etwa 15 natürliche Seen. Die restlichen waren künstlich angestaute Teiche. Bei geologischen Untersuchungsarbeiten im Rahmen des Geoparks Muskauer Faltenbogen wurde beobachtet, dass es z. T. große Unterschiede bei der Wasserfärbung gibt, obwohl die Entstehungsgeschichte und die



Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge 1-2007



Abb. 2

Die "Vier bunten Seen" sind Tagebaurestlöcher der Grube "Elster bei Horlitza" zwischen Lieskau und Wolfshain im Muskauer Faltenbogen (Blickrichtung von Süden nach Norden). Die Wasserfärbung ist natürlichen Ursprungs und nicht durch anthropogene Verschmutzung bedingt (Foto: P. RADKE)

Fig. 2

The "Vier bunten Seen" are rest lakes of the historical lignite mine" Elster bei Horlitza" between the villages Lieskau and Wolfshain within the Muskauer Faltenbogen (Muskau Arch structure; view from south to north). The water colour is of natural origin and not a man made-contamination (photo: P. RADKE)

geologischen Bedingungen gleich sind. Augenfällig sind z. B. rostbraune Seen, die in größerer Anzahl auftreten. Mehrere Beispiele dafür publizierten JANOWSCY, E. & R. JA-NOWSCY (2005) als Luftaufnahmen aus dem polnischen Teil des Muskauer Faltenbogens.

Ein besonders plastisches Beispiel für die unterschiedlichen Wasserfärbungen sind die "Vier bunten Seen" bei Horlitza (Abb. 2). Ihr Farbspektrum reicht von "schwarz", "braun", "rostbraun" bis "türkis". Sie wurden exemplarisch für die Untersuchung dieses Phänomens im Rahmen einer Diplomarbeit am Lehrstuhl Umweltgeologie der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus ausgewählt (BARON 2006). Im Mittelpunkt standen hydrogeologische Arbeiten und Interpretationen. Untersuchungen zur Mikrofauna und -flora waren hingegen nicht Gegenstand der Diplomarbeit .

2. Die Entstehung der "Vier bunten Seen"

Die "Vier bunten Seen" sind wassergefüllte Tagebaurestseen der Grube "Elster bei Horlitza" (1899 – 1909). Abge-

Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge 1-2007

baut wurde hier die Braunkohle der Welzower Schichten

(2. Miozäner Flözhorizont, 10 - 12 m mächtig), die in Form

großer glazialtektonischer Schuppen aufgestaucht wurde.

Die Bergleute bezeichneten die Schuppenstrukturen als

"Mulden" und nummerierten sie mit römischen Zahlen durch (Abb. 4 und 5). Gegenstand des Bergbaus waren die

Kohlevorkommen der Mulden IV und V. Abgebaut wurde

das Flöz bis zu einer Tiefe von etwa 12 m zunächst im Ta-

gebau und anschließend dem Einfallen des Flözes nach We-

sten folgend in vier bis sechs Tiefbausohlen (2. bis 5. Sohle bzw. 2. bis 7. Sohle) bis in eine Tiefe von 26 bzw. 30 m

unter Geländeoberkante (Köhler & Schoss 2006). In der

nachbergbaulichen Phase bildeten sich durch das natürlich

aufgehende Grundwasser Restseen in den Tagebauen. Sie

unterliegen bis heute einem ungestörten Renaturierungs-

prozess. Das heißt, es wurden keine Maßnahmen zur Veränderung der sich selbständig einstellenden Wasserqualität ergriffen. Die Bundesstraße 156 teilt die Mulden der Grube

"Elster" in einen nördlichen und südlichen Teil (sie verläuft

in Abbildung 2 zwischen den Restlöchern (RL) 16 und 18

in WSW-ENE-Richtung). Der südliche Teil wurde mit Kip-



Abb. 3

Radargramm aus dem südwestlichen Teil des Untersuchungsgebietes. Verlauf senkrecht zum Generalstreichen der glazialtektonischen Strukturen

Fig. 3

Radargram from the southwest part of the investigation area, directed perpendicularly to the general striking of glaciotectonic structures

pung eines Dammes in die heutigen vier Restlöcher unterteilt, die die Nummerierungen 1218, 1219, 1220 und 1221 erhielten (Köhler & Schoss 1995). Im Text und den Abbildungen dieses Beitrags werden die Restlöcher jeweils nur mit den letzten beiden Ziffern der vierstelligen Nummern bezeichnet, also 18, 19, 20 und 21. Alle vier Seen haben, bedingt durch das Einfallen des Flözes und dieselbe Abbaumethode, ähnliche Seemorphologien. "Die Westufer sind gewachsene Böschungen, deren Oberkante der ehemaligen Abraumkante entspricht. Die Ostufer zeigen dieses klare Bild nicht, weil sie durch teilweise mehrsöhligen Abbau unterschiedlich beansprucht wurden. Die Nord- und Südufer werden durch Auskohlungsgrenzen, Sicherheitspfeiler und Aufschüttungen gebildet" (Köhler & Schoss 1995).

3. Geologie

Als Grundlage für die hydrogeologische Modellvorstellung wurde zunächst ein geologisches Modell im Gebiet der Grube "Elster" erstellt. Als Datenbasis diente dabei das geologische Normalprofil und das glazitektonische Bauprinzip im Muskauer Faltenbogen (KUPETZ 1997), die Bergbauerkundungsbohrungen aus den Jahren 1898, 1899, 1901 und 1907 sowie die Bohrdaten der Grundwassermessstellen. Die verwendeten Modellprogramme waren GeODin3.3 und ArcView3.2a. Ergänzend dazu wurden drei Profile, je 500 Meter oberflächengeophysikalisch mit Georadar vermessen und interpretiert. Eingesetzt wurde hierzu die tragbare Georadarmessapparatur SIR 2000 der Fa. GSSI (USA) mit einer Eindringtiefe von ca. 8 m (PETZOLD et al. 2005). Abbildung 3 zeigt ein typisches Radargramm aus dem Untersuchungsgebiet. Weiße, helle Flächen zeigen reflexionsleere Gebiete an und weisen auf bindiges Lockergestein oder Kohle hin. Die dunkleren, gefleckten Gebiete stellen Reflexionen dar, wie sie in diesem Fall für Sand charakteristisch sind.

Die Oberflächenmorphologie wurde mit Hilfe eines hochauflösenden digitalen Geländemodells (Laser Scanning Verfahren, Digital Terrain Model) im Detail ausgewertet. Interpretiert wurde hierzu ein Ausschnitt des so genannten Testgebiets Döbern (STACKEBRANDT 2003). Das DTM hat eine Lagegenauigkeit von \pm 0,5 m und eine Höhengenauigkeit von \pm 0,15 m. Es ermöglichte eine sehr genaue Verfolgung des Ausstreichens des Braunkohlenflözes unterhalb der geringmächtigen Quartärbedeckung (s. KUPETZ 2003). Anhand der vorgestellten Methoden und Datenbasis wurden die geologischen Verhältnisse in einem Blockbild zusammenfassend dargestellt (Abb. 4).

Bis etwa 5 m unter Geländeoberkante befinden sich quartäre Ablagerungen (glazifluviatile Sande, vermutlich warthezeitlich). Es folgen die tertiären Schichten mit Mächtigkeiten entsprechend des Normalprofils. Die Schicht- und Formationsbezeichnungen in Abbildung 4 folgen der Tabelle der Deutschen Stratigraphischen Kommission (2002; für einen Vergleich mit den vormals verwendeten stratigraphischen Namen siehe STANDKE 2006). Die Greifenhain-Schichten sind durch schluffige, kohlige Feinsande charakterisiert. Sie werden von den Welzow-Schichten (2. Miozäne Flözhorizont) mit einer Mächtigkeit von 10 - 12 m unterlagert. Im Liegenden folgen die Drebkau- und Buchenhain-



Abb. 4

Geologisches Blockbild des Gebietes der "Vier bunten Seen". Es liegen glazitektonische Großschuppen vor. Das Braunkohlenflöz innerhalb der Schuppen wurde durch die alten Bergleute auch als "Mulde" bezeichnet und in der Grube "Elster" mit römischen Zahlen durchnummeriert.

Fig. 4

Geological block diagram of the area of the "Vier bunten Seen". There are existing large scale glaiotectonic rafts. The lignite seam within the rafts was called "Mulde" ("syncline") and within the mine "Elster" designed whith Latin numbers.

Schichten. Ein lithologisch leicht erkennbarer Horizont in den Drebkau-Schichten ist der sog. Unterbegleiter des 2. Miozänen Flözhorizontes. Nicht durch eine erkennbare Schichtgrenze getrennt schließen sich im Liegenden die Lübbenau- und Vetschau-Schichten, bestehend aus Ton, Schluff und Feinsand sowie dem 4. Miozänen Flözhorizont an der Basis der Vetschau-Schichten an. In einer Tiefe von ca. 170 m befindet sich die Basis der glazitektonischen Deformation, hier im Bild als Strich-Dreipunkt-Linie gekennzeichnet. Darunter folgen die Grießen-Schichten mit einem oberen Abschnitt aus relativ reinen Sanden und einem unteren Abschnitt aus Schluffen. Die Tiefenlage der Tertiärbasis wurde aus KUPETZ et al. (1988) übernommen. Es ist ein stark verebnetes Relief im Niveau von ca. -90 m NN, d. h. etwa 225 - 230 m unter Gelände. Das Prätertiär besteht aus Sand- und Schluffsteinen des Cenomans bis Turons (Oberkreide). Die Schraffuren und Farbgebung der Blockbilddarstellung erfolgten in Anlehnung an KUPETZ et al. 2004.

4. Hydrologie, Hydrogeologie und Hydrodynamik

Als Datengrundlage hierfür wurden im Zeitraum März bis Juli 2004 Wasserstands- und Abflussmessungen durchgeführt, Seeprofile (zur Volumenberechnung) mit Sonar vermessen, eine klimatische Wasserbilanz aufgestellt und der Wasserhaushalt der Seen bilanziert. Abbildung 5 zeigt den Grundwassergleichenplan des Untersuchungsgebiets. Die generelle Grundwasserfließrichtung ist von W nach E. Außerdem ist eine südwärts gerichtete Komponente erkennbar, die durch die Wasserhaushaltsbilanz bestätigt wird.

Für die Berechnung des oberirdischen Abflusses wurden die Wassereinzugsgebiete anhand des digitalen Geländemodells (DGM 25) mit dem Programm ArcView 3.2a und der Erweiterung Hydrotool ermittelt (Abb. 6). Dazu wurden die abflusslosen Senken aufgefüllt. Aus diesem korrigierten Höhenmodell wurde die Fließrichtung abgeleitet. Das Fließrichtungsraster zeigt deutlich eine Wasserscheide, die mit der von Köhler & Schoss 1995 dargestellten Grundwasserscheide übereinstimmt (Abb. 6, links unten). Aus der Fließrichtung wurde die akkumulierte und ungewichtete Wassermenge für ideale Bedingungen (keine Versickerung) berechnet. Diese spiegelt das vorhandene Fließnetz der Gräben wider. Aus der Fließrichtung und der akkumulierten Wassermenge wurden die Wassereinzugsgebiete berechnet (bei 1000 Gridzellen pro Einzugsgebiet, Abb. 6, rechts unten). Weiterhin zeigte sich, dass das RL 19



Abb. 5 Grundwassergleichenplan des Untersuchungsgebiets Fig. 5

Hydro contour chart of the investigation area

nur mit Grundwasser gespeist wird. Hier wird durch den Damm (B156) ein Zuströmen von Oberflächenwasser aus dem nördlichen Einzugsgebiet verhindert. Die westlich gelegenen RL 18 und 20 werden durch Grund- und Oberflächenwasser gespeist. Das RL 19 wird nur durch Grundwasser gespeist. Beim RL 21 erfolgt die Speisung durch das Grundwasser und den Zustrom von Oberflächenwasser aus dem RL 20 durch einen Graben. Es wurde angenommen, dass das System der Seen über einen Graben aus dem RL 21 ganzjährig entwässert wird.

5. Hydrochemie

Die hydrochemische Charakterisierung des Untersuchungsgebietes erfolgte anhand der Tiefenprofilmessung der Vor-Ort-Parameter (Temperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit, Redoxspannung, Sauerstoffkonzentration und Trübung) der Seen sowie der chemischen Analyse der gewonnenen Proben von Seewasser (Oberflächenwasser, Tiefenwasser) und Grundwasser. Die Interpretation beschränkte sich auf die chemischen Prozesse, bakterielle Umsetzungsprozesse wurden in der Diplomarbeit nicht berücksichtigt. Obwohl durch gleichartiges Einfallen des Flözes und die Anwendung derselben Abbaumethode ähnliche Seemorphologien vorliegen, weisen die Profile unterschiedliche hydrochemische Parameter auf. In der Abbildung 7 sind die Vor-Ort-Parameter der Tiefenprofilmessung dargestellt. Das Temperaturprofil der Seen zeigt bis auf RL 19 einen ähnlichen Verlauf.

Alle vier Restseen sind geschichtet (Abb. 7a), wobei das Epilimnion (oberflächennahe Schicht) verschieden starke Schichtdicken aufweist, angefangen von 1 - 2 m für die RL 18, 20 und 21 bis hin zu 4 m beim RL 19. Das Metalimnion (Sprungschicht) ist durch einen Temperaturgradienten von rund 1 °C/m gekennzeichnet. Eine charakteristische Ausprägung der Sprungschicht zeigt das RL 21, bei den RL 18 und 20 nimmt die Mächtigkeit des Metalimnions zu. Beim RL 19 scheint das Epilimnion mit dem Metalimnion vermischt zu sein. Die dritte Schicht, das Hypolimnion (kalte Tiefenschicht), ist durch eine konstante Temperatur gekennzeichnet, die sich für die RL 18, 20 und 21 zwischen 7,9 °C und 9,8 °C bewegt und den in den Grundwassermessstellen gemessenen Temperaturen des Grundwassers entspricht. Mit über 3 m Mächtigkeit ist das Hypolimnion beim RL 21 am größten. Das RL 19 weist einen anderen Temperaturverlauf auf. Mit 25,2 °C im Oberflächenflächenwasser und 14,3 °C im Tiefenwasser ist er deutlich wärmer als die anderen drei Seen. Ursache dafür könnte in der exotherm verlaufenden Pyritoxidation (mit einer Reaktionsenthalpie von 410 kJ/mol; WISOTZKY 1994) liegen. Das Grundwasser, das dem RL 19 aus der Richtung des RL 18 zufließt, nimmt saures Kippenwasser (Acidic Mine Drainage) auf und führt dieses dem RL 19 zu. Dies spiegelt sich besonders in der bis in eine Tiefe von 7 m konstanten Leitfähigkeit (Abb. 7c) und dem konstant sauren pH-Wert (Abb. 7b) des RL 19 wider. Des Weiteren zeigt das Profil des RL 19 keine Ausbildung des Hypolimnions. Es könnte sich hier um ein seltenes Schichtungsverhalten von meromiktischen Seen handeln (LUA, 2001). Meromiktische Seen bestehen aus einer durchmischten Oberflächenschicht, dem Mixolimnion und dem von Mischungsprozessen ausgeschlossenem Tiefenwasser, dem Monimolimnion (Rücker et al. 1999). Hinweise hierfür ergeben sich zum einen aus dem Temperaturprofil, vor allem aber durch das pH-Profil (Abb. 7 a, b). Für das RL 19 bestehen Ähnlichkeiten zum bereits untersuchten meromiktischen Waldsee bei Döbern, ebenfalls ein Tagebaurestsee im Muskauer Faltenbogen, der von Schim-



Digitales Geländemodell ohne abflusslose Senken

Abb. 6 Wassereinzugsgebiete und oberirdischer Abfluss, nähere Erläuterungen dazu im Text
Fig. 6 Drainage area and surface run-off, further explanation are given in the text

MELE (1999) untersucht wurde. Wie auch beim Waldsee besteht die Schichtung aus einem sauren, oxischen Mixolimnion und einem neutralen, anoxischen Monimolimnion. Im Gegensatz zum meromiktischen See sind die drei anderen Seen wahrscheinlich dimiktische Seen, die zweimal im Jahr (Frühjahrs-, Herbstzirkulation) durchmischt werden.

Das pH-Profil zeigt für die RL 18, 20 und 21 ähnliche Verläufe. Mit zunehmender Tiefe sinkt der pH-Wert zunächst und steigt dann wieder an, was auf einem Säureeintrag durch das Grundwasser schließen lässt. Die geringen Leitfähigkeitswerte im Epilimnion der Seen, besonders der RL 18 und 20, sind wahrscheinlich auf zuströmendes Oberflächenwasser zurückzuführen. Das RL 21 hat an der Oberfläche einen Sauerstoffgehalt von ca. 12 mg/l und er ist der einzige See, wo die Sauerstoffsättigung im Epilimnion auf über 200 % steigt. Dies ist ein Indiz dafür, dass hier bei ca. 1 m Wassertiefe Algen und Wasserpflanzen zusätzlich Sauerstoff durch Photosynthese produzieren. Demzufolge ist hier auch die Trübung (s. Abb. 7f) am höchsten.

Die Klassifizierung der Wässer erfolgt mit Hilfe des Piper-Diagramms (Abb. 8). Die Tiefenwässer der RL 18 und Abb. 7 Tiefenprofile durch die "Vier bunten Seen" a) Temperatur b) pH-Wert c) Leitfähigkeit d) Redoxspannung e) Sauerstoffkonzentration f) Trübung Fig. 7 Depth sections though the "Vier bunten Seen" a) temperature b) pH-value c) specific electric sonductivity d) oxidation-reduction potential (ORP) e) oxygen concentration f) turbidity





Abb. 8 Dreilineares Stoffdiagramm verändert nach PIPER (1944), ergänzt OF - Oberflächenwasser, TW- Tiefenwasser, GW - Grundwasser Fig. 8 Trilinear plot after PIPER (1944), supplemented OF - surface water, TW - depth water, GW - ground water

20 sind überwiegend hydrogencarbonatisch ausgebildet. Die Tiefenwasser des RL 21 und das Oberflächenwasser des RL 18 bilden eine zweite Gruppe vom Typ Ca-HCO₃-SO₄. Eine dritte Gruppe ist dem Ca-SO₄ -Typ zuzuordnen und beschreibt die restlichen Messstellen, obwohl hier eine deutliche Zunahme der Konzentration an SO₄ -Ionen vom Tiefenwasser RL 19 über die Oberflächenwässer der RL 21, 16 und 19 sowie den Graben H zu den Grundwassermessstellen zu erkennen ist.

Für eine genaue Beurteilung, welche Spezies unter den gegebenen Milieubedingungen möglich sind, war die Messung der physikochemischen Parameter erforderlich. Es zeigt sich eine vom pe- und pH-Wert abhängige Dominanz der auftretenden Verbindungen. Abbildung 9 zeigt das Fe-S-K-O-H System (verändert nach BIGHAM et al. 1996) bei 25 °C mit den Stabilitätsbereichen der Minerale:

Pyrit:	FeS ₂
Jarosit:	KFe ₃ H(OH) ₆
Goethit:	-FeOOH
Ferrihydrit:	Fe ₅ HO ₈ ·4H ₂ O
gelöste Spezies	Fe_{2}^{+}, Fe_{3}^{+}
Schwertmannit:	$Fe_8O_8(OH)_6(SO_4)_2$

Die Wässer lassen sich in fünf Gruppen einteilen. Die neutralen (schwach alkalischen) Oberflächenwässer liegen im

Bildungsbereich von Ferrihydrit. Die Tiefenwässer liegen im Grenzbereich zwischen Goethit, gelöster Spezies (Fe²⁺, Fe³⁺) und Pyrit. Die sauren Oberflächenwässer nehmen ein Feld im Schwertmannitbereich ein, und die Grundwässer an den Messstellen im Abstrombereich zeigen eine Dominanz zum Goethitfeld. Demgegenüber positionieren sich die anderen Grundwässer im Bereich der gelösten Spezies. Das Tiefenwasser des RL 19 befindet sich ebenfalls im Bildungsbereich von Goethit. Beim Tiefenwasserprofil des RL 18 könnte im oberflächlichen Wasser bis in 4 m Tiefe Ferrihydrit ausgefüllt werden. Mit zunehmender Tiefe setzt der Sprung in den Bereich des Goethits ein und verläuft anschließend bis in den Grenzbereich von Pyrit und gelösten Spezies. Die gleiche Abfolge zeigen die RL 20 und RL 21. Im vermuteten sauren Mixolimnion und für das alkalische Monimolimnion des RL 19 liegen die pe- und pH-Werte in dem Bereich des Goethits. Aber auch hier ist ein Sprung zwischen den Schichten des meromiktischen Sees erkennbar.

Die augenfälligen Farbunterschiede der Seen kann man teilweise hydrochemisch interpretieren, teilweise wird die Färbung aber auch durch die Mikrofauna und -flora bedingt, die hier nicht untersucht wurde. Das "schwarze Wasser" im RL 18 ist glasklar und farblos. Die schwarze Färbung wird durch die Lichtabsorption des mit schwarzem Laub bedeckten Seebodens hervorgerufen. Die Farbe ist



Abb. 9 pH-pe-Diagramm verändert nach Віднам (1996) Fig. 9 pH-pe-diagram, after Віднам (1996), changed

damit nur eine scheinbare. Am auffälligsten ist die rostbraune Färbung des RL 21. Ein wesentlicher Faktor hierfür ist die stärkere Grundwasserbeeinflussung. Dadurch wird Eisensulfat als Oxidationsprodukt von Pyrit in größerer Menge eingetragen und durch weitere Oxydation als Limonit (Lepidokrokit und Goethit) ausgefällt. Das Restloch 19 weist ein grünes bis türkisfarbenes Wasser auf. Diese Farbe könnte auf die Anwesenheit von Plankton zurückgeführt werden. Im Rahmen dieser Untersuchung konnte dies nicht geklärt werden. Das Restloch 20 schließlich ist braun-trüb gefärbt. Es wird angenommen, dass hier das Wachstum des Planktons so intensiv war, dass es durch Sauerstoffmangel zum Absterben desselben geführt hat und die tote organische Substanz färbend in Erscheinung tritt.

Das RL 20 weist hohe DOC-Gehalte auf. Das Vorhandensein des organischen Kohlenstoffs könnte aus der Braunkohle und aus deren Verwitterungsprodukten stammen. Nach BLÖTHE (2004) ist eine hohe DOC-Konzentration auch mit einer hohen Huminstoffkonzentration verbunden, die eine bräunliche bis teils schwarze Färbung aufweisen (LIEBEZEIT 2003). Mikroorganismen können bei Anwesenheit von Huminstoffen Fe(III)-Ionen reduzieren (BLÖTHE 2004). Die hohen Fe(II)-Gehalte korrelieren mit den hohen Gehalten an DOC. Die bräunliche Färbung und der starke Geruch des Seewassers könnten auf die Bildung von Eisensulfiden zurückzuführen sein (BLÖTHE 2004).

6. Zusammenhang Hydrodynamik / Hydrochemie

In den im Abstrom liegenden RL 19 und 21 ändert sich durch Grundwasserbeeinflussung und Pyritoxidation die Wasserbeschaffenheit. Aufgrund der Freisetzung von Sulfat und Eisen erhöhen sich die Ionengehalte, was sich in der Zunahme der Leitfähigkeit widerspiegelt. So steigt z. B. der Sulfatgehalt von 15 mg/l im RL 18 auf 125 mg/l im RL 19 an. Für das Tiefenwasser beträgt der Unterschied sogar ca. das 70fache vom Gehalt im RL 18. Als Ursache für diese Anreichung wird der durch die Pyritoxidation freigesetzte Sulfatgehalt angesehen. Für das RL 20 und das in seinem Abstrom liegende RL 21 ist die Situation ähnlich. Hier kommt es durch den Graben B (siehe Abb. 1, unten), der die beiden Seen verbindet, zusätzlich zu einer Vermischung mit dem Oberflächenwasser. Die Hauptgehalte an Ionen des Tiefenwassers aus dem RL 20 sind Eisen, Calcium und Hydrogencarbonat, die der Mineralisation des Tiefenwassers aus dem RL 21 ähnlich sind, nur dass hier Sulfationen- und Magnesiumionen hinzukommen. Die Sulfationen können zum einen durch die Verwitterung des Pyrits freigesetzt worden sein. Zum anderen könnten sie aber auch durch die Vermischungseffekte durch das Oberflächenwasser des RL 20 herrühren, da hier ebenfalls Sulfationen analysiert wurden. Das Auftreten von Magnesium kann seine Ursache ebenfalls in diesem Vermischungseffekt haben. Summiert man die Gehalte von Sulfat von Oberflächenund Tiefenwasser des RL 20 (50 mg/l) und vergleicht sie mit dem Mittelwert des Sulfatgehaltes des Tiefenwassers aus dem RL 21 (117 mg/l), so erhält man eine Differenz von 67 mg/l für Sulfat und bei gleicher Rechnung für Magnesium eine Differenz von 5,5 mg/l. Diese überschlägige Rechnung zeigt, dass die Anreicherung des Sulfats im Tiefenwasser des RL 21 nicht allein auf Vermischungseffekte zurückzuführen ist, sondern der Eintrag von Sulfat aus den Oxidationsprozessen des Pyrits ebenfalls eine Rolle spielt. In den Sommermonaten wird durch die negative klimatische Wasserbilanz der Oberflächenzufluss Null. Das Oberflächenwasser der Seen fließt jedoch weiterhin durch den Verbindungsgraben B zwischen den RL 20 und 21 und den Graben D (dem Abfluss des RL 21) weiter kontinuierlich ab. Demzufolge müssten die Seen nur noch grundwassergespeist sein. Da aber auch der oberirdische Abfluss durch die Gräben in den Sommermonaten geringer ist, verringert sich die Oberflächenwasserschicht. Die Ausbildung eines Epilimnions erfolgt zwar, nur ist seine Schichtdicke wesentlich geringer. Das bildet sich in den Tiefenprofilen der Seen sehr gut ab. Da der oberirdische Abfluss des RL 21 am größten ist, hat hier auch das Epilimnion mit 1 m seine geringste Mächtigkeit.

Zusammenfassung

Der Beitrag stellt die Hydrogeologie von vier Braunkohlentagebaurestlöchern in der Stauchendmoräne Muskauer Faltenbogen im Südosten von Brandenburg vor. Die "Vier Bunten Seen" liegen auf genetisch vergleichbaren glazialtektonischen Schuppen, weisen jedoch unterschiedliche physikochemische und hydrochemische Parameter auf, was sich vor allem in der unterschiedlichen Färbung der Seen widerspiegelt. Zur Beschreibung der geologischen Verhältnisse wurde mit Hilfe von Altbohrungen, Oberflächenradarmessungen und Laserscanningdaten ein geologisches 3D-Modell angefertigt. Die hydrologische Situation wurde durch die Erfassung des Gewässernetzes, Wasserstandsund Abflussmessungen sowie Volumenvermessung der Seen charakterisiert und in einem Grundwassergleichenplan sowie der Modellierung des Wassereinzugsgebietes und des oberirdischen Abflusses zusammenfassend dargestellt und der Wasserhaushalt der Seen bilanziert. Des Weiteren wurden physikochemische und hydrochemische Parameter von Grund- und Oberflächenwasser sowie an Tiefenprofilen in den Seen analysiert und ausgewertet (Piper-Diagramm, pH-pe-Diagramm). Auf der Grundlage dieser Daten wurden die Wechselbeziehungen zwischen Hydrodynamik, Geochemie und Hydrochemie und deren Auswirkung auf die Wasserbeschaffenheit in den Seen dargestellt und diskutiert.

Das Wassereinzugsgebiet wird im Westen durch eine Wasserscheide begrenzt. Die Hauptgrundwasserfließrichtung ist von West nach Ost gerichtet. Eine zweite Fließrichtungskomponente nach Süden ist erkennbar. Die beiden westlich gelegenen Seen (RL 18 und RL 20) sind Grund- und Oberflächenwassergespeist. Das RL 19 wird ausschließlich von durch Pyritoxidation beeinflusstes Grundwasser gespeist. Beim See RL 21 erfolgt ein Zustrom von Oberflächenwasser des RL 20 durch einen Verbindungsgraben zwischen den beiden Seen und von versauertem Grundwasser. Die Wasserstände der Seen werden durch den oberirdischen Abfluss des RL 21 reguliert. Die Tiefenprofile von drei Seen zeigen eine dimiktische Durchmischung, im vierten Fall (RL 19) liegt wahrscheinlich die nur selten auftretende Form eines meromiktischen Sees vor. Nach dem Chemismus lassen sich vier Gruppen ähnlicher Wässer ableiten. Die erste Gruppe, das Calcium-Sulfat-Wasser, wird durch alle Oberflächenwässer (ausgenommen RL 18), das Tiefenwasser des RL 19 und die Grundwassermessstellen GW 292 und GW 892 gebildet. Die zweite Gruppe sind durch Eisen-Sulfat-Wässer der restlichen Grundwassermessstellen dargestellt. Die Tiefenwässer der RL 20 und RL 21 sind vom Typ Eisen-Hydrogencarbonat-Wasser und werden der dritten Gruppe zugeordnet. Das Oberflächen- und Tiefenwasser des RL 18 gehört zur vierten Gruppe, dem Calcium-Hydrogencarbonat-Wasser. Die Tiefenwässer der Seen RL 19 und 20 sind durch pyritversauertes Grundwasser beeinflusst. Anhand der Milieubedingungen der Seen (pH-, pe-Wert) zeichnen sich die möglichen Stabilitätsfelder der Ausfällungsprodukte wie folgt ab. Die pH-neutralen Oberflächenwässer (RL 18, 20 und 21) liegen bei Sättigung im Bereich der Spezies Ferrihydrit, das saure RL 19 im Schwertmannitbereich. Die Tiefenwässer dagegen liegen bei Sättigung im Bereich der Spezies Goethit.

Summary

The article presented the hydrological characteristics of four rest lakes of lignite open cast mines in the push endmoraine structure Muskauer Faltenbogen (Muskau Arch structure) in the Southeast of Brandenburg (Germany). The "Four Coloured Lakes" are situated on genetically comparable glaciotectonic rafts but have different physiochemical and hydrochemical properties, which are reflected in varying water colours. To describe the geology, data from drillings of the historical mining, surface radar measuring, and laser scanning had been combined in a 3-D-model. The hydrological conditions had been characterised by information from the water distribution network, water levels as well as flow records and illustrated in a GW equipotential map. Additionally the lakes' water balance has been prepared. Furthermore physiochemical and hydrochemical parameters of ground and surface water as well as deep sections of the lake were measured and evaluated (Piper-diagram, pH-pediagram). Finally the interactions between hydrodynamics, geochemistry, and hydrochemistry and their consequences for the water conditions had been discussed.

The water distribution network is bounded in the west by a surface catchment area. The main direction of groundwater flow is from west to east. A secondary directional component trends towards the south. The two lakes in the west (rest lakes RL 18 and RL 20) are fed by ground and surface water. RL 19 is exclusively fed by groundwater that is influenced by pyrite oxidation. RL 21 gets water via ditch from RL 20 and from acidic groundwater. The water levels are regulated by the running water. The deep sections of three lakes show a dimictic mixing. The fourth lake probably represents the only rarely occurring meromictic lake type. In reference to chemical features four water quality groups can be distinguished. The first group is composed of calcium-sulphate waters. Among these are all surface waters (except RL 18), as well as the deep water of RL 19 and the groundwater measuring points GW 292 and GW 892. The second group is made up of iron-sulfate waters from the remaining groundwater measuring points. The deep waters from RL 20 and RL 21 can be assigned to a third group of iron-hydrogencarbonate waters. The surface and deep water of RL 18 belong to the fourth group, the calcium-hydrogencarbonate waters. The deep waters of the restlakes 19 and 21 are influenced by acidic groundwater deriving from acidic mine drainage.

Regarding the values of pH and pe, the stability fields of precipitation for surface waters are located in the section of Ferrihydrite (RL 18, 20 and 21) and Schwertmannite (RL 19), and for deep water in the section of Goethit (all rest lakes).

Danksagung

Herr Prof. Voigt, Herr Dr. Petzold, Herr Jahnke und Frau Bohn, Mitarbeiter des Lehrstuhls Umweltgeologie der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, ermöglichten mir die Bearbeitung des Themas und gaben mir jederzeit fachliche Unterstützung in Theorie und Praxis. Herr Peter Radke von der Lausitzer und Mitteldeutsche Braunkohlen-Verwaltungsgesellschaft mbH (LMBV) überließ mir das Luftbild der "Vier bunten Seen". Herr Dr. Stackebrandt vom Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR), gestattete mir die Nutzung des digitalen Geländemodells. Herr Dr. Kupetz vom Landesumweltamt Brandenburg (LUA) stellte mir wichtige Unterlagen zur Verfügung und unterstützte mich bei geologischen Fragen und Problemen sowie bei der Erarbeitung des Manuskripts. Herr K. Göttlich vom Bergamt Cottbus und Herr M. Müller von der Unteren Abfall- und Bodenschutzbehörde Forst überließen mir ebenfalls notwendige Unterlagen. Die Lehrstühle Gewässerschutz und Hydrologie der Brandenburgischen Universität Cottbus unterstützten mich bei der Durchführung von Probenahmen und der technischen Ausstattung hierzu. Frau A. Andreae vom Landesamt für Bergbau Geologie und Rohstoffe Brandenburg (Redaktion) unterstützte mich sehr bei der Bearbeitung der Abbildungen.

Bei allen genannten Personen bedanke ich mich vielmals.

Literatur

- BARON, U. (2006): Hydrogeologie an Braunkohlenrestseen des "Muskauer Faltenbogens (Restlöcher 1218-1221). -Dipl.-Arb., Fakultät Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik, Lehrstuhl Umweltgeologie BTU Cottbus, 95 S., Cottbus
- BIGHAM, J. M., SCHWERTMANN, U., TRAINA, S. J., WINLAND, R. I. & M. WOLF (1996): Schwertmannite and the chemical modelling of iron in acid sulfate waters. - Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 60, No. 12, pp. 2111-2121, Elsevier Science, New York
- BLÖTHE, M. (2004): Abschätzung der mikrobiellen Diversität in anoxisch sauren Sedimenten von Braunkohle-Restseen unter Berücksichtigung des Eisenschwefelkreislaufs. - Diss., Bayreuther Institut für terrestrische Ökologie (BITÖK), Bayreuth
- DEUTSCHE STRATIGRAPHISCHE KOMMISSION (Hrsg.) (2002): Stratigraphische Tabelle von Deutschland 2002. - Potsdam, Frankfurt (a. M.)
- HARTMANN (1823): Topographische Karte von Preußen so genanntes Preußisches Urmesstischblatt - i. M. 1 : 25 000, Blatt Weißwasser UR 4453. - Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg, Potsdam (Faksimiledruck); www.geobasis-bb.de
- HARTMANN (1845): Topographische Karte von Preußen so genanntes Preußisches Urmesstischblatt - i. M. 1 : 25 000,

Blatt Döbern UR 4353. - Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg, Potsdam (Faksimiledruck); www.geobasis-bb.de

- HEYM, W.-D. (1995): Formen und Ziele der ökologischen Beschreibung von Tagebaurestgewässern im Muskauer Faltenbogen. - Referate-Tagungsberichte "Ökologischer Zustand von Tagebaurestseen, Maßnahmen zur Beeinflussung ihrer Entwicklung". - COMETT Koordinierungsstelle Brandenburgische TU Cottbus, S. 16-18, Cottbus
- JANOWSCY, E. & R. JANOWSCY (2005): Park Krajobrazowy "Łuk Mużakowa". - Diapress Agencja Fotograficzno-Wydawniczna, 144 S., 137 Fotos, mit deutschsprachigem achtseitigem Einlageblatt, Zielona Gora
- Köhler, D. & U. Schoss (1995): Bergschadenkundliche Analyse für das Altbergbauprojekt "Elster" bei Horlitza. - Bergsicherung Cottbus, 32 S., Cottbus
- KUPETZ, A., KUPETZ, M. & J. RASCHER (2004): Der Muskauer Faltenbogen - ein geologisches Phänomen. Grundlagen einer 130jährigen standortgebundenen Wirtschaftsentwicklung und Geopark in Brandenburg, Sachsen und der Wojewodschaft Lebuser Land. - Gesellschaft für Geowissenschaften Berlin, 36 S., Berlin
- KUPETZ, M. (2003): Die Geomorphologie des Muskauer Faltenbogens im hochauflösenden digitalen Geländemodell (airborne laser scanning). Brandenburg. geowiss. Beitr.
 10, 1/2, S. 19-28, Kleinmachnow
- KUPETZ, M. (1997): Der Geologische Bau und Genese der Stauchendmoräne Muskauer Faltenbogen. - Brandenburg. geowiss. Beitr. 4, 2, S. 1-20, Kleinmachnow
- KUPETZ, M., BAUER, M., FIALA, CH., FRANKE, R., KLUGE, G., MOHNHAUPT, K. & G. SCHUBERT (1988): Lagerstättengeologische Forschung Braunkohle, Einheitsblatt Weißwasser. - Bericht, VEB Geologische Forschung und Erkundung Freiberg (unveröff.)
- LIEBEZEIT, G. (2003): Huminstoffe. Skript zur Vorlesung "Meereschemie 1", WS 2003/04, Forschungszentrum Terramare, 18 S., Wilhelmshaven
- LUA (2001): Tagebauseen: Wasserbeschaffenheit und Wassergütewirtschaftliche Sanierung - Konzeptionelle Vorstellung und erste Erfahrungen, Studien und Tagungsberichte. - Schriftenreihe des Landesumweltamtes Brandenburg, Bd. 35, Cottbus
- PETZOLD, H., BARON, U., BOHN, A. & M. KUPETZ: Ergebnisbericht - Geologisch-geophysikalische Detailerkundung der Strukturen des "Muskauer Faltenbogens" im Bereich Horlitza mit Georadar. - Bericht BTU Cottbus (im Druck.)

- RÜCKER, J., FYSON, A., DENEKE, R. & G. PACKROFF (1999): Meromiktische Seen mit saurem Mixolimnion - eine Besonderheit der Lausitzer Bergbaufolgelandschaft. - DGL Tagungsbericht, Klagenfurt 1998, Deutsche Gesellschaft für Limnologie, S. 239-243, Tutzingen
- SCHIMMELE, M. (1999): Ausbildung von Meromixien durch physikalische und chemische Einflüsse am Beispiel von Bergbaurestseen. - DGL Tagungsbericht, Klagenfurt 1998, Deutsche Gesellschaft für Limnologie, S. 234-238, Tutzingen
- SCHOSSIG, W. & M. KULKE (2006): Braunkohlenbergbau auf dem Muskauer Faltenbogen. - Beiträge zur Geschichte des Bergbaus in der Niederlausitz 6, Förderverein Kulturlandschaft Niederlausitz e. V., 200 S., Cottbus
- STACKEBRANDT, W., mit einem Beitrag von S. JANY (2003): Airborne Laserscanning für geologische Detailuntersuchungen und Abwehr bergbaubedingter Gefahren im Muskauer Faltenbogen, Südost-Brandenburg. - Brandenburg. Geowiss. Beitr. 10, 1/2, S. 1-6, Kleinmachnow
- STANDKE, G. (2006): Paläogeographisch-fazielle Modellierung des Unter-/Mittelmiozän-Grenzbereichs in der Lausitz (Briesker Folge/Formation). - Schriftenreihe für Geowissenschaften 14, 130 S., Ostklüne (Störr)
- WISOTZKY, F. (1994): Untersuchungen zur Pyritoxidation in Sedimenten des Rheinischen Braunkohlenreviers und deren Auswirkungen auf die Chemie des Grundwassers.
 Bes. Mitt. Z. Dtsch. Gewässerkdl. Jb. 58, 153 S., Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen

Anschrift der Autorin: Dipl.-Ing. Ute Baron Brandenburgische Technische Universität Cottbus Erich-Weinert-Straße 1 03046 Cottbus e-mail: <u>baron@tu-cottbus.de</u>

Geochemisch-sedimentologische Untersuchungen von Sedimenten zur Sanierung des Guanting-Reservoirs, VR China

Geochemical and sedimentological studies for restauration of Guanting Reservoir, People's Republic of China

DANIEL ACKSEL, MAREC WEDEWARDT, VOLKER SCHEPS & ANDREAS SIMON

1. Einleitung

Die Hauptstadt der Volksrepublik China - Beijing - ist durch ein hohes Wirtschaftswachstum und einen hohen Wasserbedarf gekennzeichnet. Deshalb wird es insbesondere in Hinblick auf die bevorstehenden Olympischen Spiele 2008 eine große Herausforderung bleiben, den Zugang der Bevölkerung zu sauberem Trinkwasser nachhaltig zu sichern. Beijing wird aus den zwei Ressourcen - Oberflächenwasser und Grundwasser - mit Wasser versorgt. Beide sind überbeansprucht. Die Versorgung mit Oberflächen-



wasser erfolgt im Wesentlichen aus dem Miyun-Reservoir und dem Guanting-Reservoir (GR). Gegenwärtig dient das Miyun-Reservoir als Hauptwasserressource.

Die Wasserlieferung aus dem GR ist aufgrund der unzureichenden Wasserqualität derzeit nur noch sehr eingeschränkt möglich. Weitere Probleme des GR sind die große Menge von Stauseesedimenten, die quantitativ abnehmenden Zuflüsse sowie ein steigender Wasserverbrauch im Einzugsgebiet.

Vor diesem Hintergrund wurde ein deutsch-chinesisches Verbundprojekt zwischen dem Wasseramt Beijing und dem Ministerium für Wirtschaft des Landes Brandenburg ins Leben gerufen, um "Technische und ökotechnische Lösungen für die nachhaltige Wasserversorgung von Beijing aus dem Yongding Einzugsgebiet" zu erarbeiten (Guanting Projekt). Mit der Umsetzung des deutschen Beitrags war der Verein Water Experts - Berlin Brandenburg (WE-BB e. V.), ein Zusammenschluss Brandenburgischer Kleinund Mittelständischer Unternehmen, beauftragt.

Die Hauptziele des Gesamtprojektes waren die Entwicklung von Pilotprojekten zur Verbesserung der Wasserqualität des Yongding-Flusses und die Wiederherstellung seiner Funktionalität als Wasserreservoir. Im Rahmen eines von fünf Teil-

Abb. 1

Verlauf der Transsekte Y1000, Y1005 und YH03 sowie Lage der Probenahmepunkte in Guanting-West (IKONOS Satellitenaufnahme vom 22.08.2001 [WE-BB Juni 2005]).

Fig. 1

Location of transects Y1000, Y1005 and YH03 and sampling locations in Guanting-West (IKONOS satellite view from 22.08.2001 [WE-BB June 2005]). projekten wurde die Sedimentthematik¹ - von Qualitätsuntersuchungen über geochemisches Verhalten, Entnahme- und Transporttechniken bis hin zu Verwertungsmöglichkeiten - untersucht (WE-BB, September 2005a).

Das ca. 80 km nordwestlich von Beijing gelegene GR staut seinen größten Zufluss, den Yongding und verfügt über ein Einzugsgebiet von insgesamt ca. 43 000 km² (YANG et al. 2003).

Das GR wurde 1953 in Betrieb genommen und diente, in der Reihenfolge steigender Bedeutung, der Stromerzeugung, der Wasserversorgung und dem Hochwasserschutz. Es besaß bei einer Länge von ca. 30 km und einer maximalen Breite von ca. 7 km eine Kapazität von ca. 2,27 Mrd. m³. Seit der Inbetriebnahme hat das Reservoir durch Sedimentation über 0,65 Mrd. m³ (ca. 29%) seiner Staukapazität verloren, wobei ca. 92 % der Sedimente in der Zone Guanting West² (Abb. 1) abgelagert wurden (YANG et al. 2003). Damit hat sich die Hochwasserschutzfunktion deutlich reduziert. Um dem entgegenzuwirken wurde in einer zweiten Bauphase im Jahr 1986 der Damm um 7 m und damit die Kapazität auf ca. 4,16 Mrd. m³ erhöht (YANG et al. 2003).

Der Yongding ist nicht nur für den Hauptwasserzufluss verantwortlich, sondern auch für den höchsten Eintrag an Schad- und Nährstoffen (FANGHUA 2002). An seinem Oberlauf wurde in den vergangenen Jahrzehnten ein breites Industriespektrum angesiedelt. Schadstoffe gelangen hauptsächlich in gelöster Form oder an Sedimentpartikel gebunden mit den Zuflüssen in den Stausee, akkumulieren dort und mindern die Wasserqualität.

Weitere Probleme entstehen durch den stark reduzierten Zufluss infolge eines durch Industrie und Bewässerung steigenden Wasserverbrauchs im Einzugsgebiet. Der Abfluss des GR war ursprünglich auf 44 m³/s projektiert, im Jahr 2004 standen nur noch ca. 4 m³/s zur Verfügung (interne Mitteilung des Wasseramts Beijing).

In Hinblick auf ein nachhaltiges Reservoirmanagement wurden die Seesedimente des GR zur Planung einer Nassbaggerstrategie mit Entwässerung und anschließender Verwertung untersucht. Die vorliegende Publikation beschreibt die geochemischen und sedimentologischen Parameter sowie Nährstofffreisetzungs- und -fixierungspotentiale als Grundlage für die durchgeführten Pilotversuche zur Sedimententnahme, -entwässerung und -verwertung.

2. Sedimentverteilung

Als Basis für die Planung und Umsetzung von Sanierungsstrategien wurde anhand chinesischer Daten die Sedimentverteilung in Guanting-West ermittelt (WE-BB, Mai 2003). Die Grundlage dazu lieferten wiederholte Echolotmessungen der Wassertiefen entlang von 11 Transsekten. Für die grafische Darstellung wurden Zeitreihen zusammengefasst. Die drei Profile (Abb. 1) zeigen den Verlauf der Sedimentation (Abb. 2).

Die unterste Kurve bildet die älteste Messung aus dem Jahr 1953 ab und beschreibt die ursprüngliche Morphologie des Tals zum Flutungsbeginn, während die oberste Kurve die Sedimentoberfläche im Jahr 1999 darstellt.

Die Profile lassen erkennen, dass die Sedimentationsraten in den ersten 17 Jahren nach dem Bau des Staudamms deutlich höher waren, als in den folgenden annähernd 30 Jahren. Für diesen ersten Zeitabschnitt (1953-1970) konnten mittlere Sedimentationsraten von 0,5 m/a berechnet werden, während für den zweiten Abschnitt (1970-1999) Raten zwischen 0,04 m/a und 0,27 m/a ermittelt wurden. Weiterhin nehmen die Sedimentationsraten von den tiefsten See-



Abb. 2

Sedimentoberfläche (Höhenmeter) in Guanting-West zu drei verschiedenen Zeitpunkten mit zunehmendem Abstand vom Staudamm (von unten nach oben, vgl. Abb. 1)

Fig. 2

Sediment surface in Guanting-West at three different time periods with cumulative distance of embankment dam (from the bottom up, see fig. 1)

¹ Teilprojekt 1: Bearbeitung durch folgende WE-BB e.V.- Mitglieder: DMT GmbH, LBGR, Bioplan GmbH, GeoExperts, Tauber, Wasy GmbH

² Das GR teilt sich in zwei Becken: die Yongding Zone (Guanting-West) und die Guishui Zone (Guanting Ost)

bereichen vor dem Staudamm (Y1000) bis zur Mündung des Yongding zu, außerhalb des Einflussbereichs des Yongding im Guanting-Ost gehen sie deutlich zurück. Es wurden Sedimentmächtigkeiten bis zu 20 m ermittelt.

Die Sedimentation wird in Guanting-West durch den Schwebstoffgehalt des Yongding und der Quantität dieses Zuflusses dominiert (FAN & MORRIS 1992a). Bereits in den frühen Jahren nach der Errichtung des Staudamms hat der Yongding an seiner Mündung einen Schwemmfächer in den Stausee geschüttet, welcher mit der Zeit weiter in den See wuchs (FAN & MORRIS, 1992b). Baumaßnahmen und historische Luftbilder zeigen, dass heute die älteren Teile des Schwemmfächers bereits konsolodiert sind. Der Schwemmfächer wird durch eine typische Deltasedimentation mit vorwiegend gröberen Materialien charakterisiert. Weiter seewärts kommen durch die Abnahme der Fließgeschwindigkeit feinere Korngrößen zur Ablagerung, so dass in den zentralen und südlichen Teilen des Beckens Schluffe bzw. tonige Schluffe vorherrschen. In den zentralen Bereichen bezeugen sandige Bänder größere Abflussereignisse. Die östlichen Teile des Schwemmfächers haben im Übergangsbereich zwischen Guanting-West und Guanting-Ost (Guishui Zone) zur Verlandung geführt, so dass durch die Anlage eines Kanals die oberflächliche Verbindung beider Becken künstlich wieder hergestellt werden musste (YANG et al. 2003).

Während eines Feldeinsatzes am Guanting Stausee im August 2004 (Abb. 3) wurden durch die deutschen Projektpartner an 13 Bohrpunkten insgesamt 47 m ungestörte Seesedimentsequenzen mit einem Kolbenlot (Nieder-



Abb. 3

Die Probenahmeplattform wird an den nächsten Bohrpunkt gezogen. Im Hintergrund ist der Schwergewichtsdamm des GR zu sehen (Foto: D. Acksel)

The sampling platform is trailed to the next sampling location. In the background the embankment dam can be seen (Photo: **D. Acksel**) reiter-Kolbenlot) sowie einem Schwerelot (Kurzkerngerät KGH-94 nach K. Ghilardi) gewonnen³. Durch die Korrelation der Kernsegmente konnte für den südlichen Teil des Sees ein Referenzprofil erarbeitet werden. Basierend auf den Echolotungen und den damit ermittelten Sedimentationsraten wurde für das Referenzprofil ein chronologisches Model generiert, um mögliche Verschmutzungen und das Sedimentationsverhalten zeitlich einordnen zu können (Abb. 4).



Im Ergebnis repräsentieren die obersten 2,5 m Sediment die vergangenen 34 Jahre (1970-2004) und die Sedimente von 2,5 m - 8,0 m unter der Oberkante Seeboden die Dekade von 1960 - 1970. Mit dem Referenzprofil wurde erstmalig die Seegeschichte in den Jahren von 1960 bis 2004 lückenlos erfasst. Damit steht ein Archiv zur Verfügung, welches die Sedimentationsgeschichte des Stausees nahezu vollständig abbildet.

3. Geochemisch-sedimentologische Untersuchungen

Zur Charakteristik der Sedimente sind geochemische, geotechnische, bodenphysikalische und sedimentologische Untersuchungen durchgeführt worden (WE-BB, Juni 2005). Die geochemischen Sedimenteigenschaften wurden mittels Spurenelementanalytik (RFA, ICP-OES, GFAAS⁴) im Feststoff und Eluat untersucht. Resultierend aus dem Spektrum

Fig. 3

³ Plattform und Stechsysteme wurden vom GeoForschungsZentrum Potsdam zur Verfügung gestellt.

⁴ RFA: Röntgenfluoreszenzanalyse; ICP-OES: optische Emissionsspektrometrie mittels induktiv gekoppelten Plasma; GFAAS: Graphitrohr-Atomabsorptionsspektrometrie

der sich im Einzugsgebiet angesiedelten Industrie wurden gezielt Untersuchungen auf prozessspezifische organische und anorganische Schadstoffe durchgeführt.

Die Ergebnisse der Sedimentuntersuchungen zeigen lithologische, physikalische und geochemische Unterschiede. Basierend auf dem Abflussverhalten des Yongding und anthropogenen Beeinflussungen in dessen Einzugsgebiet sind die Sedimente überwiegend feinklastisch und arm an organischen Bestandteilen. Sie können in drei Arbeitseinheiten *Black Layer, Brown Layer und Soil Layer* unterteilt werden, die auch durch statistische Verfahren (Cluster- und Varianzanalyse) bestätigt wurden.

Black Layer

Die Sedimente dieses Typs überdecken im zentralen und südlichen Teil des Guanting-West die Deltaschüttungen des Yongding. Der *Black Layer* erreicht eine maximale Mächtigkeit von ca. 40 cm und ist von flüssiger bis breiiger Konsistenz (Abb. 5). Genetisch ist das Sediment als toniges Sapropel anzusprechen. Der *Black Layer* ist zu wesentlichen Teilen durch die Primärproduktion im See gebildetes Material, dessen Biodegradation zu schneller Sauerstoffzehrung und reduktiven Verhältnissen im Sediment und damit zur schwarzen Farbgebung geführt hat. Er konnte sich erst bilden, nachdem die Deltaschüttungen aufgrund eines reduzierten Yongding-Zuflusses in den Hintergrund getreten ist. Feine braune Laminationen innerhalb des *Black Layers* bezeugen das Wechselspiel zwischen eingetragenen fluviatilen und seeeigenen Sedimenten.

Die geochemischen Eigenschaften lassen sich wie folgt zusammenfassen (Tab. 1 u. 2): Der *Black Layer* besitzt einen hohen Kalzit- und einen relativ niedrigen Organik-Gehalt. Hauptkomponente ist Silikat. Der *Black Layer* ist deutlich anthropogen beeinflusst. Chrom (Cr), Nickel (Ni), Kupfer (Cu), Quecksilber (Hg), Zink (Zn) und Arsen (As) kommen in gegenüber dem geogenen Hintergrund im Einzugsgebiet erhöhten Konzentrationen vor, zeigen jedoch eine geringe Mobilität. Mit Ausnahme von Zn und Hg sind die Schwermetallkonzentrationen unauffällig. Insgesamt kann nach einer Einstufung der Konzentrationen anhand von Grenzwerten aus verschiedenen deutschen Verordnungen eine Verwendung des *Black Layers* in der Landwirtschaft nicht empfohlen werden (CALMANO 2001).

Weiterhin ist Phosphor (P) im *Black Layer* akkumuliert. Während der P-Gehalt im Feststoff, gemessen als P_2O_5 , nur gering ist und leicht über den Konzentrationen des *Brown* und *Soil Layers* liegt, weist das Eluat sehr hohe PO₄-Gehalte auf, die dem 250-fachen der Eluatkonzentrationen in *Brown* und *Soil Layer* entsprechen. Damit besitzt der *Black Layer* ein hohes P-Freisetzungsvermögen. Das Vorkommen von Phosphor in den Sedimenten des Guanting korreliert signifikant mit dem Vorkommen von Eisen (Fe) und TOC (Total Organic Carbon).

Tab. 1 Ausgewählte charakteristische Feststoffkonzentrationen von Black, Brown und Soil LayerTab. 1 Selected solid matters characterizing black, brown and soil layer

	Proben- anzahl	SiO2	AI ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ 05	Organik	CaCO ₃	TOC	cr	iz	Cu	Нд	Zn	As
Methode		RFA	RFA	RFA	RFA			cal.	ICP	ICP	ICP	CVAAS	ICP	ICP
Einheit		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(µg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
Black Layer	10	45,5	14,2	6,1	0,20	4,4	16,2	1,6	57,1	42,9	50,1	70,5	123,6	16,6
Brown Layer	40	47,3	14,9	6,3	0.16	1,1	14,8	0,7	57,3	42,1	50,3	30,3	87,2	16,0
Soil Layer	24	64,5	12,0	3,8	0.13	1,0	7,5	0,4	33,3	23,1	22,1	20,0	58,9	7,5

 Tab. 2
 Ausgewählte charakteristische Eluatkonzentrationen von Black, Brown und Soil Layer

 5
 6

Tab. 2Selected eluate contents characterizing black, brown and soil layer

	Proben- anzahl	Leitfähi gkeit	CI	NH4	DOC	SO4	PO40	Fe	ЧN	As	స	Cu
Methode			IC	IC	IC	ICP	ICP	ICP	ICP	GFAAS	ICP	ICP
Einheit		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Black Layer	9	804	18,7	4,1	37,7	491,8	50,1	0.014	1.5	133,1	<10	<10
Brown Layer	37	283	2,4	1,7	9,4	45,3	0,2	<0.014	0.1	4,5	<10	<10
Soil Layer	21	266	5,1	1,3	5,1	42,2	0,1			4,6	<10	<10

Elution nach DIN 38414, Teil 4 (S4):=Feststoff-Wasser-Verhältnis 1:10



Abb. 5

Typisches Oberflächensediment in Guanting-West (Kern GUA-A 2-1-1, 0-100 cm u.GOK; Entnahmeort: Vor dem Staudamm in 11 m Wassertiefe). Deutlich zu erkennen sind die lithologischen Einheiten Black Layer und Brown Layer

Fig. 5

Typically surface sediments in Guanting-West (Core GUA-A-2-1-1, 0-100 cm depth; Sampling location:in front to the dam, waterdepth 11 m). Brown and Black Layer as lithological units are in evidence

Brown Layer

Der Brown Layer unterlagert den Black Layer. Diese vorwiegend homogenen, tonig bis siltigen Sedimente stellen die abgelagerte Schwebfracht des Yongding dar. In Abhängigkeit von Teufe und Kompaktion werden weiche bis halbfeste Konsistenzen erreicht. Die Mächtigkeit der Übergangszone von Black zu Brown Layer beträgt nur etwa 10 cm. Im Gegensatz zum Black Layer kommt der Brown Layer in den zentralen und südlichen Bereichen des Guanting-West auch in gut durchlüfteten Flachwasserbereichen vor. Im Brown Layer markieren in unregelmäßigen Abständen dünne, bis 0,5 cm mächtige, dunkle Lagen zyklische Phasen eines reduzierten fluviatilen Sedimenteintrags (Abb. 5). Als feinklastisches Sediment besitzt der Brown *Layer* einen geringen Organik-Anteil, die DOC-Gehalte im Eluat sind um ca. 75 % geringer als im *Black Layer*. Der Kalzit-Anteil ist geringfügig kleiner als beim *Black Layer*. Den Hauptbestandteil bildet wiederum Silikat, die Konzentrationen von Al_2O_3 und Fe_2O_3 entsprechen denen des *Black Layers*. Die Schwermetallkonzentrationen liegen generell unterhalb deren des *Black Layers*, Cr, Ni und Cu entsprechen den Gehalten im *Black Layer* und liegen über den geogenen Hintergrundwerten (Tab. 1 u. 2). Unter den gegebenen Bedingungen ist von einer geringen Mobilität auszugehen. Insgesamt zeigt der *Brown Layer* unauffällige Elementkonzentrationen. Einschränkungen für eine mögliche Nutzung z. B. in der Landwirtschaft ergeben sich deshalb nicht.

Soil Layer

Als *Soil Layer* werden hier siltig bis feinsandige, fluviatile Sedimente bezeichnet, die Schüttungen des Yongding darstellen und entsprechend im Deltabereich in den nördlichen Flachwasserbereichen des Guanting-West vorkommen (Abb. 6). Der Organik-Gehalt ist sehr gering, ebenfalls der DOC-Gehalt. Während der Bohrungen im Deltabereich wurde Sumpfgas in größeren Mengen freigesetzt. Es akkumuliert in den sandigen Schichten und lässt Rückschlüsse auf intensive Mineralisierungsprozesse zu.

Silikate zeigen im *Soil Layer* die höchsten Konzentrationen. Die Kalzit-Konzentration entspricht ca. 50 % von *Black* und *Brown Layer*. Innerhalb des GR weist der *Soil Layer* die geringsten Schwermetallgehalte auf. So entsprechen auch Cr, Ni und Cu den geogenen Hintergrundwerten im Einzugsgebiet. Verglichen mit deutschen Grenzwerten⁵, zeigt der *Soil Layer* naturnahe Elementgehalte, die aus geochemischer Sicht eine uneingeschränkte Nutzung der Sedimente erlauben.

Die Ergebnisse der geochemisch-sedimentologischen Untersuchungen haben gezeigt, dass die Sedimente mit Ausnahme des *Black Layers* aufgrund ihrer Gesamtkonzentrationen und deren Wasserverfügbarkeit ein geringes Gefährdungspotential besitzen.

4. Säulenversuche

Um die durch ein nachhaltiges Wassermanagement und verschiedene technische Maßnahmen im Einzugsgebiet erreichbare Qualitätsverbesserung der direkten und diffusen Zuflüsse zu sichern war zu prüfen, ob Rücklösungsprozesse (Remobilisierung) aus dem Sediment die angestrebte Wasserverbesserung im Reservoir beeinträchtigen oder gar verhindern können. Diese Fragestellung ist für Baggerstrategien zur Wiederherstellung der ursprünglichen Kapazität des Reservoirs (Hochwasserschutz) ebenfalls relevant.

⁵ Z. B. Z0-Kriterium der LAGA (Länderarbeitsgemeinschaft Abfall: "Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen"

⁻ Teil 2. Technische Regeln für die Verwertung von Bodenmaterial)



Abb. 6Schematisierte Karte der Sedimentverteilung in Guanting - WestFig. 6Generalized map of sediment distribution in Guanting - West

Die Gesamtphosphorkonzentrationen im Wasser des Yongding-Flusses⁶ liegen 30 bis 70 mal höher als im Stausee selbst und haben zu einer Eutrophierung des Guanting-West geführt. Beobachtungen von starken Blaualgenblüten während des Feldeinsatzes in 2004 bestätigen dies. Die TN/TP Verhältnisse zeigen, dass die Primärproduktion im Guanting-West phosphorlimitiert ist (WE-BB, Juni 2005). Darum wird im Guanting Projekt eine Reduktion der externen P-Fracht durch die Umsetzung von technischen Maßnahmen im Einzugsgebiet angestrebt. Durch eine Reduzierung der externen P-Fracht gewinnt oft der seeinterne P-Zyklus an Bedeutung, so dass die erwarteten Effekte eines reduzierten externen P-Inputs durch Rücklöseprozesse (Remobilisierung) aus dem Sediment überlagert werden können. Da P im Black Layer angereichert ist und die Eluatuntersuchungen auf eine gute Wasserverfügbarkeit schließen lassen, wurden durch einfache laborative Säulenversuche das Sorptions- und Desorptionsverhalten von P aus den Sedimenten untersucht.

Zusätzlich wurde das Desorptionsverhalten von Cu, Cr und As ermittelt. Als weiterer Aspekt wurde geprüft, ob sich die unbelasteten Sedimente des GR zur Phosphorfixierung aus dem Wasserkörper und damit zur Reduzierung der fortschreitenden Eutrophierung einsetzen lassen (WE-BB September 2005b). persion (dynamisch / statisch) der Sedimente durchgeführt, um Effekte einer Baggerung zu simulieren. Weiterhin wurden unterschiedliche Nährstoffniveaus durch den Zusatz von P und N simuliert. Eine genaue Beschreibung des Versuchsaufbaus ist in WE-BB (September 2005B) gegeben.

Die Säulenversuche wurden mit und ohne einmalige Dis-

Trotz annähernd gleicher P-Feststoffgehalte sind signifikante Unterschiede zwischen *Black* und *Brown Layer* festzustellen (Abb.7). Das Dispergieren des *Black Layers* (vgl. Test 2.1) führt zu einer schnellen und hohen P-Freisetzung. Hier konnte eine maximale Freisetzungsrate von 80 mg/m² ermittelt werden. Unter gleichen Bedingungen wird im Gegensatz dazu vom *Brown Layer* nur wenig P freigegeben (vgl. Test 2.2). Unter statischen Bedingungen war die P-Freisetzung vom *Black Layer* gering (vgl. Test 1.1), jedoch wiederum höher als unter gleichen Bedingungen bei dem *Brown Layer* (vgl. Test 1.2), wo P-Gehalte in der Größenordnung der Nachweisgrenze gemessen wurden.

Der deutlichste Prozess konnte bei unterschiedlichen Trophiestadien beobachtet werden. Bei hohen künstlichen P-Zugaben (200 μ g/l), ähnlich den gegebenen Konzentrationen des Yongding, führt das Aufwirbeln des Brown Layers zu einer schnellen und nahezu vollständigen Fixierung des P (vgl. Test 4.4). Dabei findet die P-Fixierung hauptsächlich durch Adsorption an Tonmineralen und se-

⁶ 2,83 mg/l TP und 1,1 mg/l TP am 30.12.2004 und 29.09.2004 an Brücke Nr. 8; Quelle: WE-BB e.V., Teilprojekt 3



Abb. 7

Änderung des P-Gehalts (mg) während der ersten sieben Tage. Das Verwirbeln des Black Layers führt zu einer starken P-Freisetzung (vgl. Test 2.1). Das Aufwirbeln des Brown Layers führt im Gegensatz dazu durch Adsorptionsprozesse und Bindung an Karbonate zu einer deutlichen P-Fixierung (vgl. Test 4.4). **Der Brown Layer besitzt ein hohes P-Bindungs**vermögen

Fig. 7

Changes in P content (mg) during first seven days. P release is high after dispersing Black layer (ref. Test 2.1). Dispersing Brown layer has a high P fixing potential (ref. Test 4.4). Here fixing is mainly controlled by adsorption processes and by binding on carbonates (February and March 2005)

kundär durch Bindung an Karbonate statt. Beide Bestandteile sind in den Sedimenten des GR angereichert. Unter statischen Bedingungen konnte ebenfalls eine leichte P-Reduzierung im Wasser gemessen werden, jedoch kann unabhängig von der P-Konzentration im Wasser nur wenig P fixiert werden (vgl. Test 3.4). Ursache ist die gegenüber den dynamischen Versuchen begrenzte Reaktionsfläche. Da die Sedimentoberfläche kleiner ist, stehen auch entsprechend weniger Adsorptionmöglichkeiten zur Verfügung und die Freisetzung / Lösung von Hydrogenkarbonat als Bindungspartner ist ebenfalls limitiert.

Die aus den Säulenversuchen gewonnenen Erkenntnisse lassen sich auf die natürlichen Bedingungen im GR übertragen. Der **Black Layer** besitzt durch mobilere P-Bindungsformen ein hohes P-Freisetzungspotential, welches durch physikalischen Stress, wie z. B. Wellen, Hochwasser oder Baggerung weiter erhöht wird. Im Rahmen von Sanierungsvorhaben sollte der *Black Layer* nicht aufgewirbelt werden. Das Aufwirbeln führt zu einem sehr hohen Sauerstoffverbrauch und zur Freisetzung von fischtoxischem Ammoniak. Gleichzeitig wird ein seeinterner Eutrophierungsschub gefördert. Die Freisetzung von geringen Mengen As kann nicht ausgeschlossen werden. Bei zukünftigen Baggerungen bilden z. B. Saugverfahren eine Methode, um Aufwirbelungen der Sedimente zu verhindern.

Der **Brown Layer** hat ein geringes P-Freisetzungspotential. Diese Sedimente besitzen durch ihren hohen Anteil bindiger Bestandteile (25 % Ton (T), 74 % Schluff (U), 1% Sand (S)) und den hohen Karbonatgehalt großes Fixierungspotential für P. In den Laborversuchen konnte durch das Dispergieren vom *Brown Layer* aus dem überstehenden Wasser P eliminiert werden. Beim Aufwirbeln einer 10 cm mächtigen Sedimentschicht wurde eine maximale P-Fixierungsrate von 70 mg/m² ermittelt. Begleitend trat eine hohe, kurzzeitige Sauerstoffzehrung auf. Eine Freisetzung von Cu, Cr oder As in relevanten Größenordnungen konnte nicht beobachtet werden. Die Gefahr der Freisetzung von anderen Umweltgiften ist aufgrund der chemischen Sedimenteigenschaften nach den vorliegenden Untersuchungen nicht zu befürchten.

Als Sanierungsstrategie bietet das Aufwirbeln der Brown Layer Sedimente im GR eine Möglichkeit, um die P-Fracht im Wasser deutlich zu reduzieren. Dazu wäre der Brown Layer mittels Saugbagger reihenweise in Kanälen zu gewinnen (WE-BB Juni 2003) und dem See sogleich als Wasser-Sediment-Gemisch oberflächlich wieder zu zuführen. Als positiver Nebeneffekt würde der Black Layer abgedeckt und damit eine Interaktion mit dem Wasserkörper unterbunden werden. Das Aufwirbeln des Brown Layers stellt eine ökonomische und praktikable Alternative gegenüber anderen kostenintensiven seeinternen Sanierungsmaßnahmen dar. Vor der Ausführungsplanung sind jedoch weitere Un-

tersuchungen und Bilanzierungen durchzuführen (z. B. vollständige P-Bilanz). Voraussetzung für eine nachhaltige Sanierung nach oben genannter Methode ist eine Reduzierung des jährlichen P-Inputs, da dieser nach groben Abschätzungen derzeit deutlich über dem P-Bindungsvermögen der Sedimente liegt.

Im Rahmen dieses Vorhabens konnte gezeigt werden, dass durch intensive Sedimentuntersuchungen nachhaltige Baggerstrategien erarbeitet werden können. Das Gesamtprojekt wurde im August 2005 nach 3-jähriger Laufzeit mit der Vorlage von zahlreichen, aus Pilotprojekten abgeleiteten Maßnahmen, zur Verbesserung der Wasserqualität des Yongding erfolgreich abgeschlossen.

Zusammenfassung

Im Rahmen des durch das Ministerium für Wirtschaft des Landes Brandenburg und das Wasseramt Beijing geförderten chinesisch-deutschen Verbundprojektes "Technische und ökotechnische Lösungen für die nachhaltige Wasserversorgung von Beijing aus dem Yongding Einzugsgebiet" wurden von 2002 bis 2005 im Teilprojekt 1 "Umfassende technische Lösungen und Pilotprojekte zur Schadstoffkontrolle und Verwendung der Sedimente des Guanting-Reservoirs" geochemische, sedimentologische und ingenieurgeologische Untersuchungen durchgeführt. Sie bilden die Grundlage für die weitere Planung und die Durchführung von Pilotprojekten zur Sedimententnahme, -entwässerung und -verwertung.

Anhand chinesischer Messdaten wurde zunächst die horizontale und vertikale Sedimentverteilung im Stausee modelliert, und basierend auf jährlichen Aufzeichnungen unterschiedliche Sedimentationsraten abgeleitet. Die Ergebnisse dienten zur Planung der im Jahr 2004 von deutscher Seite durchgeführten Probennahme von Stauseesedimenten. Es wurden an 13 Bohrpunkten insgesamt 47 m ungestörte Sedimentkerne gewonnen, die erstmals das Sedimentationsgeschehen in den Jahren 1960 bis 2004 lückenlos dokumentieren.

Im Ergebnis der geochemischen, lithologischen und physikalischen Untersuchungen wurden die Sedimente aufgrund unterschiedlich hoher Stoffkonzentrationen in drei Schichten (Layer) unterteilt. In einfachen Säulenversuchen wurde das Sorptions- und Desorptionsverhalten von Phosphor aus den unterschiedlichen Sedimenten untersucht. Zusätzlich wurde das Desorptionsverhalten von Kupfer, Chrom und Arsen ermittelt.

Diese Kennwerte sind für die Planung und Durchführung zukünftiger Sanierungsstrategien von Bedeutung.

Summary

In the framework of the cooperation-project "Technical solutions for the sustainable water supply of Beijing from the Yongding River Basin", financed by the Brandenburg Ministry for Economics and the Beijing Water Ressources Bureau, from 2002 to 2005 geochemical, sedimentological and physical investigations were carried out. Intension of the basic study has been the design and execution of pilot projects for sediment dredging, dewatering and utilization.

The horizontal and vertical sediment distribution adapted from Chinese data was the base for the execution of deep sampling carried out by German side in 2004. 47 m of sediment sequences had been taken at 13 locations on Guanting Reservoir. For the first time the sedimentation history between 1960 and 2004 could be recorded.

Geochemical, lithological and physical analyses carried out three different sediment types. These layers are characterized by different contaminant concentration. Sorption and desorption tests were done for different layers and different contaminants.

The knowledge about this contaminant behaviour of the different types of sediment is necessary for further dredging and utilization strategies.

Literatur

- CALMANO, W. (2001): Untersuchung und Bewertung von Sedimenten. - 551 S., Berlin (Springer)
- FANGHUA, H. (2002): Influence research of water Quality in Guanting Reservoir from non-point pollution. - Institute of Environmental Science of Beijing Normal University, Beijing (unveröff.)

- FAN, J. & G. L. MORRIS (1992a): Reservoir Sedimentation. I: Delta and Density Current Deposits. - Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 118, 3, March 1992, S. 354-369, New York
- FAN, J. & G. L. MORRIS. (1992b): Reservoir Sedimentation.
 II: Reservoir Desiltation and Long-Term Storage Capacity. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 118, 3, March 1992, S. 370-384, New York
- YANG, X., LI, S. & S. ZHANG (2003): The sedimentation and dredging of Guanting Reservoir. Journal of Sediment Research, Vol. **18**, 2, S. 130-137, Beijing
- WE-BB (May 2003): Analysis and assessment of basic data on the sediments. TP 1 report. - DMT / LGRB, 32 S., Potsdam
- WE-BB (June 2003): Techniques for dredging, shipping and treatment of sediment. TP 1 report. - DMT / Bioplan, 31 S., Potsdam
- WE-BB (June 2005): Investigation and monitoring of GR Sediment. TP 1 report. - DMT / LGBR / Bioplan / Geo-Experts, 76 S., Potsdam
- WE-BB (September 2005a): Summarizing report TP1: Sediment properties and utilization. TP 1 report. - DMT / LBGR / Bioplan / Tauber / GeoExperts, 16 S., Potsdam
- WE-BB (September 2005b): Chemical stabilization of the sediments pilot project. TP 1 report. DMT / LBGR / Bioplan / GeoExperts, 35 S., Potsdam

Anschrift der Autoren: Dipl.-Geogr. Daniel Acksel Sellostr.13 14471 Potsdam

Dr. Marec Wedewardt Weißwasserweg 35 12205 Berlin

Dr. Volker Scheps Dipl.-Geol. Andreas Simon Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Stahnsdorfer Damm 77 14532 Kleinmachnow

Mitteilung aus dem Landesamt No. 215

Das dieser Publikation zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Ministeriums für Wirtschaft des Landes Brandenburg gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge 1-2007

Landesamt

soeben erschienen:

Geologische Übersichtskarte 1 : 100 000 mit Beiheft Blatt 5, Landkreis Havelland Blatt 13, Landkreis Spree-Neiße Geologische Karte 1 : 50 000, Blatt L 3752 Frankfurt (Oder) / Słubice



Annotation:

Sonntag, A.: Die Geologische Karte 1:100000, Blatt 13 - Landkreis Spree-Neiße. -Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, Bereich Geologie,

14532 Kleinmachnow

Annotation:

Hermsdorf, N.: Die Geologische Karte 1: 100 000, Blatt 5 -Landkreis Havelland. - Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, Bereich Geologie, 14532 Kleinmachnow



Annotation:

Schulz, R., Piotrowski, A. & K. Urbanski: Die geologische Karte 1:50000, L 3752 – Frankfurt (Oder) / Słubice. - Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, Bereich Geologie, 14532 Kleinmachnow

Die bereits im Jahre 2005 in Heft 1/2 der Brandenburgischen Geowissenschaftlichen Beiträge durch SCHULZ & STA-CKEBRANDT vorgestellte und bisher nur als Plot verfügbare Karte ist nun auch in gedruckter Form, inklusive eines zweisprachigen Erläuterungsheftes, erhältlich. Die Geologischen Karten 1: 100 000 ergänzen die Reihe der in diesem Maßstab bereits erschienenen geologischen Kreiskarten zu den Landkreisen Teltow-Fäming; Potsdam-Mittelmark, kreisfreie Stadt Potsdam, kreisfreie Stadt Brandenburg an der Havel; Uckermark und Elbe-Elster, Oberspreewald-Lausitz.









Der Vertrieb der Karten erfolgt durch den Landesbetrieb für Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg. Heinrich-Mann-Allee 103 14473 Potsdam Service-Telefon: (0331) 8844 - 123 Telefax: (0331) 8844 - 126 e-mail: poststelle@geobasis-bb.de Internet: http://www.geobasis-bb.de

Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge 1-2007

Kurzmitteilung

Tag des Geotops 2006 Deutsch-polnische Exkursion im Geopark Muskauer Faltenbogen

DAVID LANG & ALMUT KUPETZ

Alljährlich, am dritten Sonntag im September, veranstalten in Deutschland Universitäten, geowissenschaftliche Gesellschaften und Vereine, Geoparks, Besucherbergwerke, Schauhöhlen, Findlingsgärten und andere Geologie vermittelnde Einrichtungen den "Tag des Geotops".

Für den 17. September 2006 hatte die Internationale Bauausstellung Fürst-Pückler-Land (IBA) in enger Zusammenarbeit mit dem deutschen und dem polnischen Förderverein Geopark Muskauer Faltenbogen unter dem Motto "Tag des Geotops ... Natur begreifen" ein Programm vorbereitet und dazu eingeladen, einen Teil des Geoparks mit dem Fahrrad und zu Fuß zu erkunden.

Bei prächtigem Wetter kamen an diesem Tag morgens knapp 90 geologisch interessierte Laien aus Deutschland



Abb. 1

Die Eröffnung des Tags des Geotops durch den Geschäftsführer des Weltkulturerbes Fürst-Pückler-Park Bad Muskau Herrn Cord Panning (links) mit Simultanübersetzung ins Polnische durch Herrn Wolfgang Karge (rechts), Foto: M. Kupetz

und Polen zum Treffpunkt in der Nähe der Orangerie des Fürst-Pückler-Parks Bad Muskau, um sich an der Fahrradtour zu den Neißeterrassen und den Mineralquellen am Neißehang zwischen Köbeln und Pussack zu beteiligen. Entlang der Route gab Herr Dr. Manfred Kupetz, Vorsitzender des Fördervereins Geopark Muskauer Faltenbogen e. V., Erläuterungen zur Entstehung der Neißeterrassen, zu den hängenden Tälern und den Mineralquellen am Neißehang. Fragen aus dem Publikum zeigten das große Interesse an geologischen Strukturen, ihrer Entstehung und deren Bezug zur Morphologie der Landschaft.

Gegen Mittag zurück auf dem Gelände des Fürst-Pückler-Parks Bad Muskau bestand die Möglichkeit, ein Picknick auf den Parkwiesen zu genießen oder das gastronomische Angebot im Park zu nutzen.

Angelockt von den Klängen eines Saxophons vom Vordach des Eingangs zum Neuen Schloss traf man sich um 14:00 Uhr wieder, wo bereits Liegestühle und Bänke auf die Gäste warteten. Auch hier war für das leibliche Wohl gesorgt. Von der Eingangstreppe des Schlosses aus richteten der Landrat des Niederschlesischen Oberlausitzkreises Herr Bernd Lange, der Direktor der Fürst-Pückler-Stiftung Bad Muskau, Herr Cord Panning, der Bürgermeister des Städtchens Łeknica und Vorsitzende des Fördervereins auf polnischer Seite, Herr Jan Bieniasz, der Prokurist der Internationalen Bauausstellung, Herr Thomas Worms, und der Vorsitzende des deutschen Fördervereins des Geoparks, Herr Dr. Manfred Kupetz, Grußworte an die Teilnehmer der Veranstaltung. Der Dolmetscher, Herr Wolfgang Karge, trug in bewährter Weise dazu bei, dass sowohl den deutschen als auch den polnischen Freunden des Muskauer Faltenbogens von den Ausführungen nichts entging.

Die Fürst-Pückler-Stiftung ermöglichte es danach allen Interessenten, auf den soeben fertig rekonstruierten Turm des Neuen Schlosses Bad Muskau zu steigen und aus luftiger Höhe die sonnenüberflutete Parklandschaft zu bewundern. Die Zahl der Veranstaltungsteilnehmer hatte sich auf ca. 120 erhöht, als man sich um 16:00 Uhr an der Fußgänger-



Abb. 2 Eine der zahlreichen Mineralquellen in der "Babina". Ihre Besonderheit besteht darin, dass sie völlig vegetationsfrei sind und bleiben, Foto: M. Kupetz

brücke über die Neiße, die den deutschen und den polnischen Teil des Landschaftsparks Bad Muskau verbindet, versammelte. Auf polnischer Seite wartete bereits ein Busshuttle, der die Gäste zum Ausgangspunkt der angekündigten Wanderung durch das Altbergbaugebiet der Braunkohlengrube "Babina" brachte. In zwei Gruppen, die von Herrn Roman Sobera vom polnischen und von Herrn Dr. Manfred Kupetz vom deutschen Förderverein Geopark Muskauer Faltenbogen geführt wurden, erschloss man sich auf mitunter abenteuerlichen Wegen die bizarren Erosionsformen an den Rändern der Tagebaurestgewässer und die attraktiven Eisensulfatquellen. Am Endpunkt der Wanderung hatten sich die polnischen Mitveranstalter etwas ganz Besonderes ausgedacht. Am Ufer eines Bergbaurestgewässers mitten in der Natur war für alle Wanderer eine kleine Party vorbereitet worden. Köstlichkeiten vom Grill, Bier vom Fass und Jazz-Live-Musik von einer kleinen Bühne (fast) im Wasser gaben den Teilnehmern des "Tags des Geotops 2006" in der abwechslungsreichen Kulisse des Muskauer Faltenbogens Gelegenheit, diesen erlebnisreichen Tag auf angenehme Weise ausklingen zu lassen. Zurück mit dem Bustransfer nach Bad Muskau schloss sich für die deutschen Teilnehmer der Kreis der Veranstaltung.



Abb. 3

Exkursionsgruppe auf einem der typischen "Elefantenrücken" im polnischen Teil des Faltenbogens, hier am Rand des ehemaligen Tagebaus der Braunkohlengrube "Babina", Foto: V. Mielchen

Anschrift der Autoren: David Lang Internationale Bauausstellung Fürst-Pückler-Land GmbH Seestraße 84-86 01968 Großräschen

Almut Kupetz c/o Förderverein Geopark Muskauer Faltenbogen e. V. Schulweg 1a 03055 Cottbus

	INHALT (Fortsetzung)	CONTENTS (continue)	Seite
Sixten Bussemer, Jürgen Michel, Norbert Schlaak & Joachim Luckert	Geologisch-morphologisches Profil durch den nordöstlichen Barnim (Brandenburg)	Geological cross section across the northeastern Barnim (Brandenburg area)	37-49
ROLAND WEIßE	Glaziäre Kleinsenken des Potsdamer Gebiets	Glacial kettles holes of Potsdam Region	51-63
STEPHAN HANNAPPEL & Alexander Limberg	Ermittlung des Flurabstands des oberflächennahen Grundwassers in Berlin	Determination of the floor distance of shallow groundwater in Berlin	65-74
UTE BARON	Hydrologie der "Vier bunten Seen" im Muskauer Faltenbogen	The Hydrology of the "Four Coloured Lakes"	75-86
DANIEL ACKSEL, MAREC WEDEWARDT, VOLKER SCHEPS & ANDREAS SIMON	Geochemisch-sedimentologische Untersuchungen von Sedimenten zur Sanierung des Guanting-Reservoirs, VR China	Geochemical and sedimentological studies for restauration of Guanting Reservoir, People's Republic of China	87-94
	Kurzmitteilungen	Short news	
DAVID LANG & ALMUT KUPETZ	Tag des Geotops 2006 Deutsch-polnische Exkursion im Geopark Muskauer Faltenbogen	Day of geotop German-polish excursion into geopark Muskau Arch push moraine	96-97
JOHANNES H. SCHROEDER	und immer wieder am 1. Mai, diesmal im Hohen Fläming	our annual geological journey on the first of May, this time to the Hoher Fläming region	30
	Aus dem Landesamt	From the Geological Survey	
WERNER STACKEBRANDT	Jubiläen	Anniversaries	64
	Soeben erschienen	Just new	95
	Buchbesprechung	Book review	
WERNER STACKEBRANDT	J. H. Schroeder (Hrsg.)(2006): Führer zur Geologie von Berlin und Brandenburg, Nr. 6: Naturwerksteine in Architektur und Baugeschichte von Berlin. 2. Aufl.	J. H. Schroeder (Hrsg.)(2006): Führer zur Geologie von Berlin und Brandenburg, Nr. 6: Naturwerksteine in Architektur und Baugeschichte von Berlin. 2. Aufl.	50

Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge

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. Die Redaktion behält sich das Recht vor, Manuskripte zur Überarbeitung an die Autoren zurückzusenden.

Ihre Manuskripte senden Sie bitte als Papierausdruck und in digitaler Form an das Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, Redaktion z. Hd. Frau A. Andreae Tel.: 033203-36647, e-mail: <u>Anneliese.Andreae@</u><u>lbgr-brandenburg.de</u>. Weitere Anfragen richten Sie bitte ebenfalls an die obige Adresse.

Manuskript

Der Umfang des Manuskripts sollte zehn Seiten (A4, 1,5 zeilig) nicht überschreiten. Wissenschaftliche Kurzinformationen sind einschließlich der Abbildungen auf maximal fünf Seiten zu bemessen. Jedem Beitrag ist eine kurze deutsche und englische Zusammenfassung beizufügen. Bitte übersetzen Sie den Titel des Beitrages, die Unterschriften der Abbildungen, Tafeln und Tabellen ebenfalls ins Englische. Die Textdateien sollten unformatiert sein und in Word abgefasst werden (Schrift: Times New Roman 10pt). Absätze bitte mit einer Leerzeile trennen. Bei Einheiten und Maßstäben verwenden Sie bitte das geschützte Leerzeichen. Außerdem wird um ein Originalmanuskript gebeten, in dem alle Sonderzeichen sowie Buchstaben aus anderen Sprachen genau angegeben sind.

Word-Dokumente bitte **nicht** mit integrierten Abbildungen liefern, d. h. Text und Abbildungen immer in separaten Dateien abgeben.

Abbildungen

Wir empfehlen, die Anzahl von bis zu 7 Abbildungen je Beitrag nicht zu überschreiten. Zu beachten ist, dass Abbildungsvorlagen geringfügig größer als die beabsichtigte Druckgröße sein müssen. Bei Fotos ist der Maßstab als verbaler Ausdruck anzugeben (keine Maßstabsleiste). Zur Beschriftung in den Abbildungen verwenden Sie bitte die Schriftsätze "Times New Roman oder Arial". Jede Abbildung ist separat mit Nummer und Autorennamen zu kennzeichnen (Bleistift) und als einzelne Datei zu liefern. Die Abbildungsunterschriften sind in einer gesonderten Datei beizugeben. Digital hergestellte Zeichnungen und Abbildungen sollten die Formate Adobe Illustrator (.ai), CorelDraw (.cdr) bis Version 9.0, Bitmap (.bmp) oder TIFF (.tif) haben, andere nach Absprache. Das Originalformat und einen Ausdruck bitte immer mitschicken.

Tabellen

Tabellen bitte mit einem Tabellenprogramm schreiben (Word, Excel) und eine separate, scanfähige Vorlage (Papier, Folie) mitliefern.

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 Småländer "Erdnaht". - Geol. Rdsch. 41, S. 78-90, Stuttgart

NIESCHE, H. & F. KRÜGER (1998): Das Oder-Hochwasser 1997 - Verlauf, Deichschäden und Deichverteidigung. - Brandenburg. geowiss. Beitr. **5**, 1, S. 15-22, Kleinmachnow

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)

Autorennamen bitte in KAPITÄLCHEN schreiben, nicht mit Großbuchstaben.

Autorenname(n): Akademischer Titel, Vorname, Name, und Anschrift der Institution oder gegebenenfalls die Privatanschrift.

Die Zeitschrift "Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge" des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg wird seit 1994 herausgegeben

Bisher sind erschienen:

or only	ersemene	11.			
1994,	Heft 1,	128 S.,	51Abb.,	14 Tab.	Zur Quartärgliederung
1995,	Heft 1,	144 S.,	83Abb.,	15 Tab.	
1995,	Heft 2,	96 S.,	37 Abb.,	5 Tab.	Neotektonik in Mitteleuropa
1996,	Heft 1,	160 S.,	100Abb.,	9 Tab.	Geotope
1997,	Heft 1,	96 S.,	57 Abb.,	2 Tab.	Ehrenkolloquium für Dr. G. Schwab
1997,	Heft 2,	96 S.,	61 Abb.,	14 Tab.	
1998,	Heft 1,	84 S.,	74 Abb.,	4 Tab.	Standsicherheit Flußdeiche
1998,	Heft 2,	84 S.,	35 Abb.,	10 Tab.	
1999,	Heft 1,	116S.,	55 Abb.,	15 Tab.	Geopotentiale
1999,	Heft 2,	80 S.,	34 Abb.,	5 Tab.	Lithofazieskartenwerk Quartär (DDR)
2000,	Heft 1/2,	196 S.,	121 Abb.,	23 Tab.	Quartär, Inlandeistheorie
2001,	Heft 1,	48 S.,	6 Abb.,	8 Kt.	Neogeodynamica Baltica
2002,	Heft 1/2,	156 S.,	77 Abb.,	29 Tab.	
2003,	Heft 1/2,	202 S.,	157 Abb.,	22 Tab.	Airborne Laserscanning
2004,	Heft 1/2,	184 S.,	82 Abb.,	17 Tab.	Geothermie, Stratigraphie des Känozoikums
2005,	Heft 1/2,	180 S.,	120 Abb.,	15 Tab.	
2006,	Heft 1/2,	176 S.,	118 Abb.,	19 Tab.	Regionalgeologie, ausgewählte Geopotenziale

Geologische Karten zum Land Brandenburg (Auswahl)

Geologische Übersichtskarte des Landes Brandenburg 1: 300 000

- Geologische Grundkarte (GÜK 300); 15,00 €

- Tiefenlinienkarte der Zechsteinoberfläche (GK 300 Z-OK); 10,00 €

Bodenübersichtskarte des Landes Brandenburg 1: 300 000, Bodengeologische Grundkarte (BÜK 300); 13,00 €

Karte der oberflächennahen Rohstoffe Steine und Erden des Landes Brandenburg 1 : 300 000 (KOR 300), 2. überarb. Aufl.; 20,00 €

Geologische Übersichtskarte des Landes Brandenburg 1: 100 000 mit Beiheft (Kreiskarten)

Landkreis Uckermark; Landkreise Elbe-Elster, Oberspreewald-Lausitz; Landkreis Teltow Fläming; Landkreis Potsdam-Mittelmark, kreisfreie Stadt Potsdam, kreisfreie Stadt Brandenburg a. d. Havel; Landkreis Havelland; Landkreis Spree-Neiße; je 8,00 €

Geologische Karte von Berlin und Umgebung 1:100 000

- Geologische Grundkarte (GÜK 100); 8,00 €
- Karte ohne Quartär mit Darstellung der Tiefenlage der Quartärbasis (GKoQ); 13,00 €

Geologische Karte des Landes Brandenburg 1: 50 000, Blatt L 3752 Frankfurt (Oder) / Słubice; 12,00 €

Bodengeologische Karte 1 : 50 000 (BK 50), Blatt L 3744 Potsdam; 10,00 €

Hydrogeologische Karte 1: 50 000 (HYK 50), je Blatt-Nr. 3 Teilkarten:

· Hydrogeologischer Schnitttafel (HYK 50-S)

· Karte der oberflächennahen Hydrogeologie (HYK 50-1)

- \cdot Karte des weitgehend bedeckten Grundwasserleiterkomplexes GWLK 2 (HYK 50-2)
- Blatt L 3744 Potsdam liegt gedruckt vor, je Teilkarte 15,00 €

Alle weiteren Blatt-Nr. werden als Kartenplots, je Teilkarte zu einer Gebühr von 10,00 € herausgegeben.

Rohstoffgeologische Karte 1 : 50 000, Karte der oberflächennahen Rohstoffe (KOR 50), flächendeckend für das Land Brandenburg, je Kartenplot 15,00 €

Atlas zur Geologie von Brandenburg 1 : 1 000 000, 3. Aufl. auf CD; 6,00 €

Weitere thematische Karten sowie ältere Unterlagen sind im Archiv des LBGR auf Anfrage verfügbar. Ein vollständiges Vertriebsverzeichnis können Sie im LBGR anfordern.

Zu beziehen über:

Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, Bereich Geologie, Stahnsdorfer Damm 77, 14532 Kleinmachnow, Tel. 033203/36641, Fax 033203/36702

