LANDESAMT FÜR BERGBAU, GEOLOGIE UND ROHSTOFFE BRANDENBURG

1/2
2008

Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge

	INHALT	CONTENTS	Seite
RALPH KÜHNER, JAQUELINE STRAHL, PETER SÜSSMILCH & HANS ULRICH THIEKE, mit einem Beitrag von STEFAN MENG	Lithologische und pollenanalytische Befunde aus dem saalefrühglazialen Fluviatilkomplex (Tranitzer Fluviatil) und dem Eem-Interglazial im Tagebau Jänschwalde, Südbrandenburg	Lithological and palynological results to the Early Saalian Fluvialtile Complex (Tranitzer Fluviatil) and the Eemian in the Jänschwalde opencast mine, South Brandenburg	1-21
JAQUELINE STRAHL & NORBERT HERMSDORF	Karte der Eem-Vorkommen des Landes Brandenburg	Eemian deposits in the Brandenburg area	23-55
BERTHOLD RECHLIN	Eine Methode zur konzentrationsunabhängigen Früherkennung von Salzwasserintrusionen in süßwasserführende Grundwasserleiter und Oberflächengewässer	A method for a concentration free early detection of saltwater intrusions into freshwater aquifers and surface water	57-68
UWE KABOTH, BERTHOLD RECHLIN & GERHARD GINZEL	Besteht für unsere Seen eine geogene Versalzungsgefahr? Hydrochemisch-genetische Untersuchungen von Speisungsbedingungen an Seen im Naturpark Stechlin	Are our lakes endangered by geogene salinisation? Hydrochemical-genetical investigations of conditions for alimentation of the lakes in the natural park Stechlin	69-79

FORTSETZUNG S. 169

Titelbild: Ansicht einer Moorlandschaft im Großen Moosbruch (s. Beitrag LEHRKAMP et al.)

Herausgeber: © Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, Präsident: Dr.-Ing. Klaus Freytag
Inselstr. 26, 03046 Cottbus
Telefon: (0355) 48640-0, Telefax: (0355) 48640-510, e-mail: lbgr@lbgr-brandenburg.de, Internet: www.lbgr.brandenburg.de

Schriftleitung: Dr. Werner Stackebrandt

Redaktionsbeirat: Dr. Werner Stackebrandt, Dr. habil. Fritz Brose, Dr. Volker Manhenke, Dr. Peter Nestler, 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, Außenstelle Kleinmachnow, 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: 15,00 €

Druck: Druckerei Feller, Teltow

Printed in Germany
ISSN 0947-1995

Brandenburg. geowiss. Beitr.	Kleinmachnow, Cottbus	**15** (2008), 1/2	S. 1-21	6 Abb., 4 Tab., 49 Lit.

Lithologische und pollenanalytische Befunde aus dem saalefrühglazialen Fluviatilkomplex (Tranitzer Fluviatil) und dem Eem-Interglazial im Tagebau Jänschwalde, Südbrandenburg

Lithological and palynological results to the Early Saalian Fluvialtile Complex (Tranitzer Fluviatil) and the Eemian in the Jänschwalde opencast mine, South Brandenburg

Ralf Kühner, Jaqueline Strahl, Peter Süssmilch & Hans Ulrich Thieke
mit einem Beitrag von Stefan Meng

1. Einleitung

Fluviatile Schotterterrassen besitzen in der Niederlausitz eine großflächige Verbreitung und bilden häufig die einzigen lithostratigraphischen Leithorizonte für die Einstufung quartärer Ablagerungen. Sie können auf Grund ihrer charakteristischen Geröllspektren relativ sicher unterschiedlichen Flusssystemen zugeordnet werden, wurden aber auf Grund fehlender oder unzureichender orthostratigraphischer Belege vielfach in konträre stratigraphische Positionen gestellt.

In der östlichen Niederlausitz repräsentiert das gegenwärtig im Tagebau Jänschwalde (Vattenfall Europe Mining AG) in Superposition aufgeschlossene Tranitzer Fluviatil den wichtigsten fluviatilen Leithorizont. Es wird von Hellwig (1975) in eine untere, vorwiegend fein- bis mittelkörnige und eine obere, mittel- bis grobkörnige Folge unterteilt. Die untere Folge enthält lokal mehrere Schluffmuddelagen mit subarktischen Pollenspektren unklarer stratigraphischer Position (Seifert 1973, Erd 1974a in Hellwig 1975 und in Erd 1994). In Annahme einer Überlagerung durch Saale II-Geschiebemergel im Raum Klinge, welche 1996 von Nowel wieder korrigiert wurde, prägten Nowel & Cepek (1988) für diese Folge den Begriff „Klinger Fluviatil“. Als Schotterlieferant vermuten sie die Spree, deren Sedimentfracht durch Einschüttung der Neiße stark verdünnt und durchmischt wurde. Dagegen belegen in der oberen Folge auffallend hohe Anteile an Isergebirgsfeldspäten (9 bis 15%) sowie Quarzgehalte um 70% und bis 5% Schiefergebirgsmaterial die Zuordnung zur Lausitzer Neiße (Hellwig 1975). Eingelagerte und weiträumig aushaltende Muddelagen bezeugen eine Entwicklung bis hin zu subborealen Klimabedingungen, besitzen allerdings ebenfalls keine stratigraphische Wertigkeit (Erd 1994). Die ursprüngliche Positionierung des gesamten Tranitzer Fluviatils in den Zeitraum zwischen Saale II- und Saale III-Glaziation (u. a. Hellwig 1975, Cepek et al. 1994) bzw. Drenthe und Warthe (zuletzt Nowel 2007) ist 1994 durch Lippstreu et al. revidiert und im Ergebnis von Kartierungsbefunden dem Zeitraum des ausgehenden Elster-Glazials (Teile des Unteren Tranitzer Fluviatils umfassend) und Saale-Frühglazials (Teile des Unteren und gesamtes Oberes Tranitzer Fluviatil) zugeordnet worden. Die Umstufung wurde durch Resultate quantitativer Tonmineral-Untersuchungen der Grundmoränen im Liegenden (Luckert & Thieke 2000), ersten Thermolumineszenz-Datierungen (Krbetschek & Stolz 1994) und der auffallenden Übereinstimmung mit der lithologischen Gesamtabfolge adäquater Serien im südlichen Brandenburg (Lippstreu & Stackebrandt 2003) gestützt. Eine analoge stratigraphische Position ergibt sich auch aus den neueren Aufschlüssen nördlich des Baruther Urstromtales in der Hornoer Hochfläche (Kühner 2003).
In diesem Sinne wird das Tranitzer Fluviatil im Folgenden als hauptsächlich saalefrühglaziale Schüttung von Lausitzer Neiße, Spree und Nebenflüssen verstanden. Die Trennung in eine untere und obere Folge bzw. die Abgrenzung der feinkörnigeren, Spree-dominierten Ablagerungen als „Klinger Fluviatil“ erscheint jedoch auf Grund der beobachteten häufigen Durchmischung beider Flusssysteme und der generellen Kornverfeinerung nach Norden nur noch bedingt sinnvoll. Dies wird auch durch die pollenanalytisch belegten, mehr oder weniger gleichförmigen Florenbilder und deren stratigraphische Indifferenz unterstrichen.

2. Regionalgeologische Situation

Das Bearbeitungsgebiet befindet sich im Bereich der saalezeitlich angelegten Hornoer Hochfläche am Nordrand des Baruther Urstromtals (Abb. 1). Die Quartärbasis zeigt ein stark bewegtes Relief und wird von inselartig erhaltenen, durch Talungen und tiefe Subglazialrinnen getrennte Tertiärhochlagen geprägt. Während die Quartärbasis auf

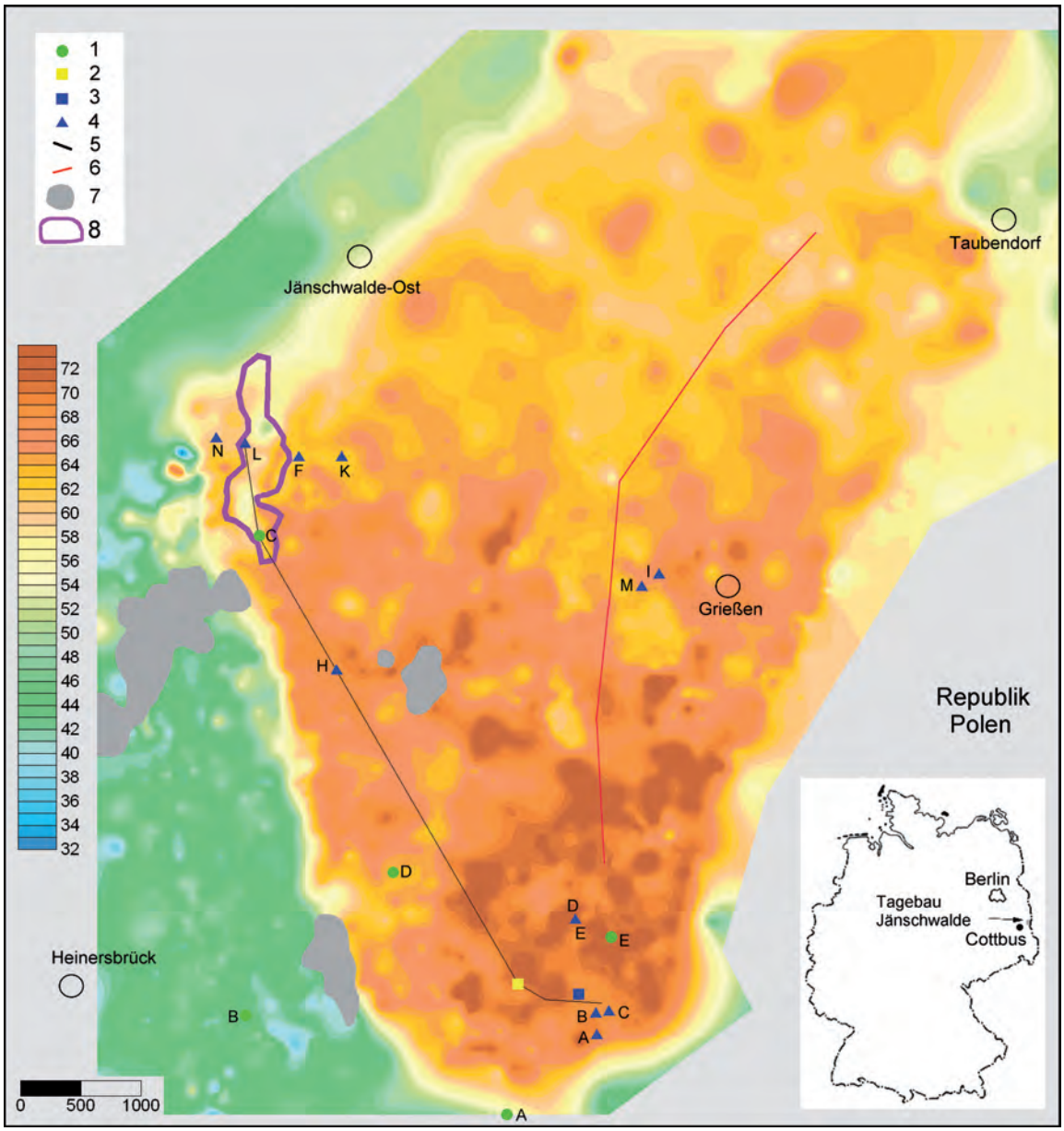


Abb. 1
Darstellung der Hangendisohypsen des saalefrühglazialen Fluviatilkomplexes im Tagebau Jänschwalde
Probenentnahmepunkte:
1 - Pollenanalyse; 2 - Altersbestimmung mittels Infrarot-Radiofluoreszenz-Methode; 3 - Schwermineralanalyse; 4 - Geröllanalyse; 5 - Spurlinie geologischer Übersichtsschnitt; 6 - Spurlinie geophysikalischer Übersichtsschnitt; 7 - Hochlagen ohne fluviatile Überdeckung; 8 - Eem Jänschwalde

Fig. 1
Hypsometric map of the Early Saalian Fluvialtile Complex (Tranitzer Fluviatil) in the Jänschwalde opencast mine
Sampling points:
1 - pollen analysis; 2 - age determination using Infrared Radiofluorescence method; 3 - heavy mineral analysis; 4 - pebble analysis; 5 - trace of the geological cross section; 6 - trace of the geophysical cross section; 7 - flat upland areas without fluvialtile covering; 8 - Eemian of Jänschwalde

den Hochlagen noch ein Niveau über +70 m NHN erreicht, taucht sie in den flacheren Rinnen auf +30 bis 0 m NHN, in der östlich angrenzenden Dubrau-Bohrauer Rinne bis -100 m NHN ab.

Auf den Hochlagen beginnt die quartäre Schichtenfolge mit einem charakteristischen, dunkelgrauen bis schwarzgrauen lodgement till (Abb. 2), der den 2. Elster-Vorstoß repräsentiert. Er ist von extrem fester, kompakter Ausbildung und

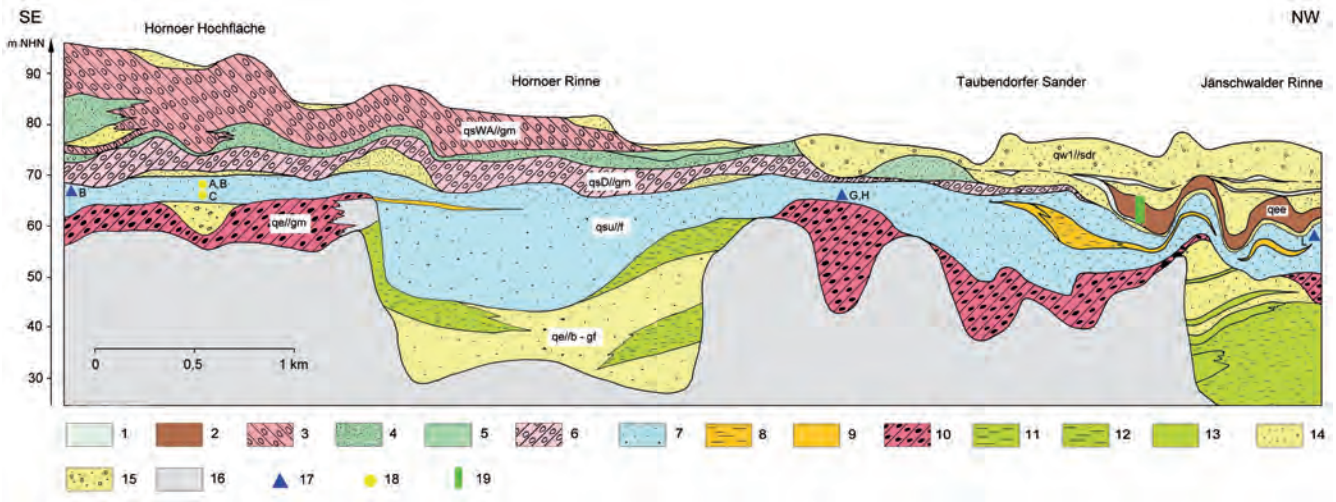


Abb. 2
Geologischer Übersichtsschnitt
1 - Schluff, z. T. organisch; 2 - Schluffmudde, qee; 3 - Warthe-Grundmoräne, qsWA//gm; 4 - Feinsand, schluffig bis stark schluffig, qsD - qsWA//b; 5 - Schluff, meist hoher Anteil von umgelagertem Miozän-Material, qsD -qsWA//b; 6 - Drenthe-Grundmoräne, qsD//gm; 7 - Fein- bis Grobsand, vereinzelt kiesig, Tranitzer Fluviatil, qsu; 8 - Fein- bis Mittelsand, z. T. mit organischen Einlagerungen, qsu; 9 - Schluff, z. T. organisch, qsu; 10 - Elster-Grundmoräne, qe2//gm; 11 - Mittelsand, fein- bis grobssandig, schluffig, Schlufflagen, z. T. mit Solifluktionsschutt, qe2//b - p; 12 - Feinsand, schluffig, qe//b; 13 - Bänderschluff, qe//b; 14 - Schmelzwassersande, z. T. kiesig, 15 - Grobsand, kiesig, 16 - Mittelmiozän, ungegliedert; 17 - Geröllanalyse; 18 - Infrarot-Radiofluoreszenz-Datierung; 19 - Pollenanalyse (Kühner 2007)

Fig. 2
Geological cross section
1 - silt, partially organic; 2 - silty mud, qee; 3 - Warthian till, qsWA//gm; 4 - silty, fine-grained sand, qsD - qsWA//b; 5 - silt, mostly high content of reassorted Miocene sediments, qsD - qsWA//b; 6 - Drenthian till, qsD//gm; 7 - fine grained to coarse grained sand, partially gravely, Tranitzer Fluviatile, qsu; 8 - fine-grained to medium grained sand, partially organic layers, qsu; 9 - silt, partially organic, qsu; 10 - Elsterian till, qe2//gm; 11 - fine grained to coarse grained sand, silty, silt layers, partially soil flow; qe2//b-p; 12 - silty, fine-grained sand, qe//b; 13 - banded silt, qe//b; 14 - melt water sand, partially gravely; 15 - coarse grained sand, gravely; 16 - Middle Miocene, undivided; 17 - gravel analysis; 18 - samples for Infrared Radiofluorescence method; 19 - pollen analysis (Kühner 2007)

fällt durch hohe Gehalte an aufgenommenen Tertiärmaterialien auf. Glazilimnische Staubeckensedimente und grobe Schmelzwasserschotter im Hangenden der Elster-Moräne sind auf den Hochlagen nur untergeordnet entwickelt. Sie beschränken sich auf die Füllung der Subglazialrinnen und der einzelnen Talungen, wo sie meist in Wechsellagerung mit dem Solifluktionsschutt der ehemaligen Talhänge ausgebildet sind.

Ablagerungen der Holstein-Warmzeit beschreibt erstmals Hellwig (1975) ca. 4 km nordwestlich der Hornoer Hochfläche aus der Bohrung CoN 1504/71 in Form organogener Schluff- und Tonhorizonte innerhalb fluviatiler, meist mittel- bis grobsandiger Schüttungen im Niveau zwischen 0 und +24 m NHN. Sie liegen im Bereich der Krausnick-Burg-Peitz-Gubener Hauptrinne und können mit einer Vielzahl neuerer Erkundungsbohrungen bis in den Raum Peitz-Jänschwalde-Drewitz verfolgt werden. Hier finden sie Anschluss an die pollenanalytisch belegten, bereits im südlichen Randbereich des Fünfeichener Beckens (Hannemann 1964, 1967) liegenden Vorkommen von Groß Drewitz (zuletzt schrftl. Mitt. Erd vom 07.10.1994), Drewitz, Atterwasch und Bärenklau (Strahl 2000a, b, 2002b, 2008) sowie Butzen (Erd in Cepek et al. 1994). Ursprünglich ebenfalls als holsteinzeitlich vermutete Ablagerungen im Bereich des Tagebaus Jänschwalde (Cepek & Nowel 1991) und aus der Bohrung Horno-Jänschwalde Süd 5007/83 konnten dagegen pollenanalytisch lediglich als nicht näher einordenbare kaltzeitliche Ablagerungen stratifiziert werden (Erd 1993, Erd in Cepek & Nowel 1991, Erd 1994).
Die genannten Vorkommen umfassen, ausgenommen das von Groß Drewitz, ausschließlich Ablagerungen des jüngeren Holstein-Interglazials der Pollenzonen (PZ) 5 - 7 sowie teilweise auch der Fuhne-Kaltzeit, so in Drewitz, Bärenklau (Abb. 3), Atterwasch und am Pinnower See (Strahl 2000b). Während die in der Bohrung CoN 1504/71 z. T. mit beträchtlichen Anteilen von Flügelnuss (*Pterocarya*) und Erle (*Alnus*, Erd 1974b, 1994) nachgewiesene PZ 6 eine Flußauen- und Bruchwaldvegetation mit zahlreichen Wasser- und Sumpfpflanzen widerspiegelt und in Verbindung mit

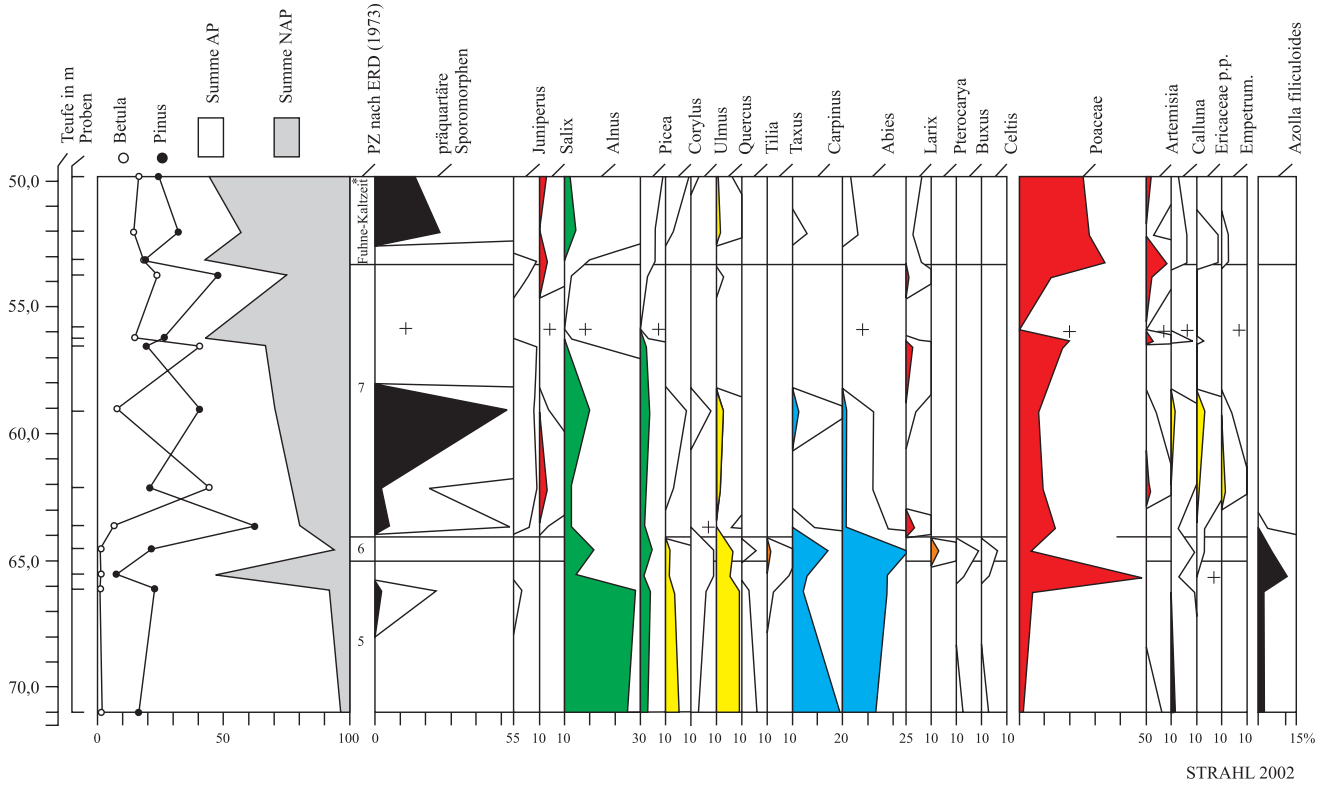


Abb. 3
Übersichtspollendiagramm der Bohrung Bärenklau GWBR 5/2000, ausgewählte Taxa
*Grundsumme = Baumpollen + Nichtbaumpollen = AP + NAP = 100% exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste sowie präquartäre Sporomorphen, Werte <1% zehnfach erhöht, + = außerhalb der Grundsumme, * resedimentiertes Holstein der PZ 7 führend, AP = arboreal pollen (Baumpollen), NAP = nonarboreal pollen (Nichtbaumpollen)*

Fig. 3
Pollen diagram of borehole Bärenklau GWBR 5/2000 (selected Taxa)
*basis = sum arboreal pollen + nonarboreal pollen = AP + NAP = 100%, excl. swamp- and water plants, spores, algae and other micro remains, prequarternary sporomorphs, values <1% with tenfold exaggeration, + = out of basis sum, * contains reworked Holsteinian of PZ 7, AP = arboreal pollen, NAP = nonarboreal pollen*

der weitflächigen Verbreitung des Horizontes eine flache, verzweigte Flusslandschaft am Ende des Klima-Optimums des Holstein belegt, zeigen die Vorkommen im Bereich des Fünfeichener Beckens neben durch die Erle beherrschten Bruchwaldarealen die typische Tannen (*Abies*)-Hainbuchen (*Carpinus*)- und Kiefern (*Pinus*)-Bewaldung des jüngeren bzw. ausgehenden Holstein-Interglazials.

Cepek et al. (1994) ordnen die Haupteinschüttung in das Fünfeichener Becken im Wesentlichen der Spree zu, die aus dem Raum Spremberg-Cottbus kommend, bei Peitz einmündete und sich hier mit den Ablagerungen der Neiße vermischte.
Das fluviatile Regime war anfangs noch an die auch im Holstein-Interglazial nicht vollständig verfüllten Talungen der elsterzeitlichen Rinnensysteme gebunden. Erst mit der sukzessiven Auffüllung dieser Depressionen durch die Schüttung ausgedehnter und mächtiger Schwemmfächersedimente wurden die Talungen seit Beginn der Fuhne-Kaltzeit weitestgehend aufgeschottert und nivelliert, so dass sich die Oberkante des Schwemmfächers im ausgehenden Saale-Frühglazial bereits im Niveau der mit Elster-Geschiebemergel bedeckten Hochflächen bewegte. Die wiederholte Argumentation von Nowel (zuletzt 2007), eine Verbindung „des oberen Tranitz (Basisniveau +72 m NN) mit den echten Frühsaale-Schottern von Jänschwalde und Maust (Basis um +20 m NN) ergäbe ein Flussgefälle von 5m/km...“, ist unter diesen Gesichtspunkten nicht mehr nachvollziehbar, da hier die Basis von zwei Schotterkörpern verglichen werden soll, die mit einem erheblichen zeitlichen Abstand (beginnendes und ausgehendes Saale-Frühglazial) geschüttet wurden und damit keine zeitgleichen, miteinander korrellierbare Abflussniveaus darstellen können.

Der Gletscher des Drenthe-Stadiums fand auf den ausgedehnten Schwemmfächersedimenten ein relativ ausgeglichenes Relief vor, das zudem durch hohe Permafrostmächtigkeiten gekennzeichnet gewesen sein dürfte und dadurch

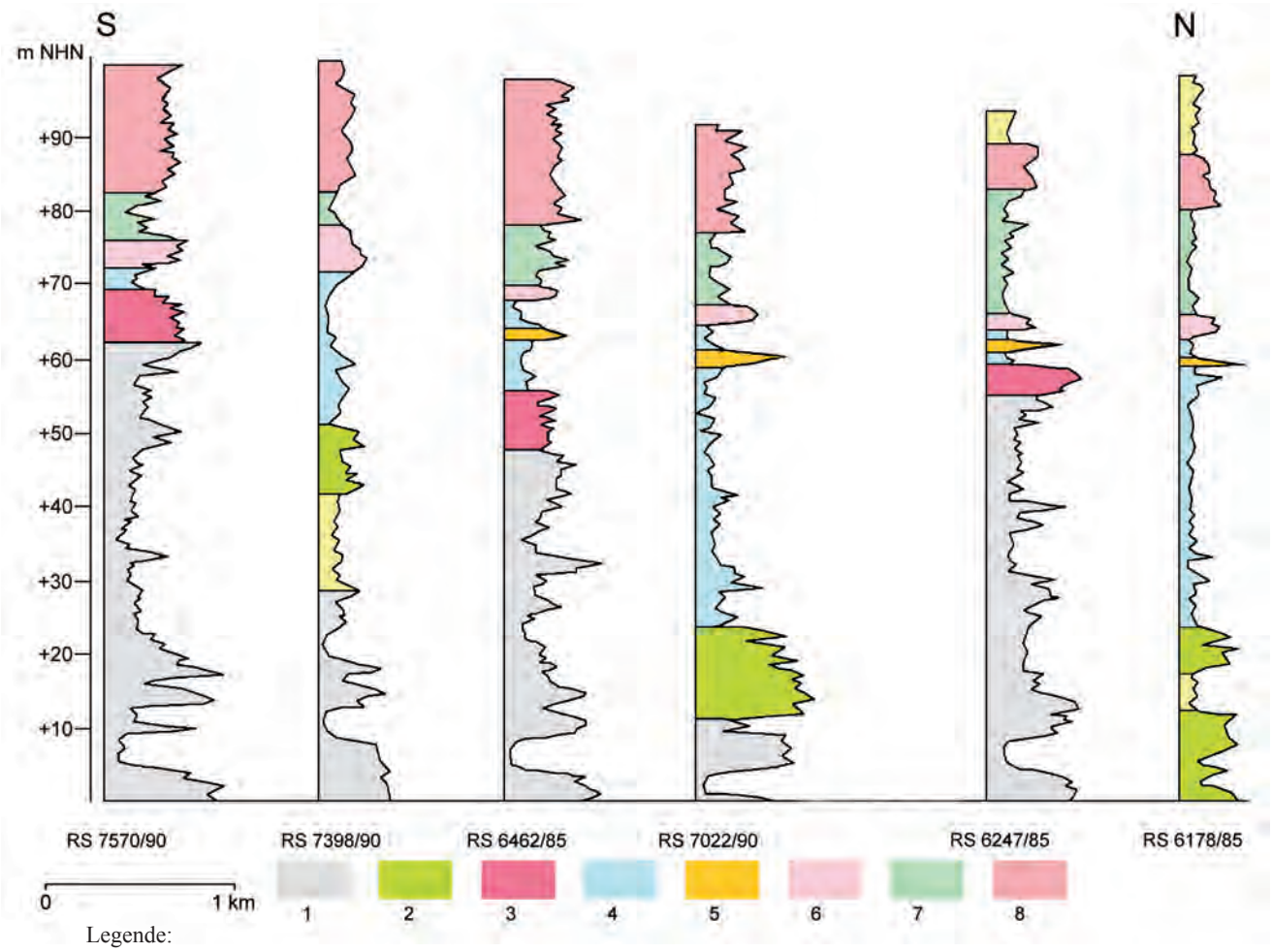
nur unwesentlich von glaziärer Erosion und Deformation beansprucht wurde. Die Verbreitung entsprechender Vorschüttsedimente bleibt auf lokale, schluffige und feinsandige Ablagerungen beschränkt, die nur vereinzelt mit gröberen Schmelzwasserablagerungen wechsellagern. Darüber setzt mit flach welliger Basis die Drenthe-Moräne mit einem sehr kompakten, ungeschichteten und stark geklüfteten Absetzgeschiebemergel von etwa 3 bis 5 m Mächtigkeit sowie deutlich ostbaltisch geprägter Kleingeschiebezusammensetzung ein. Sie wird durch eine sandig-schluffige Beckenserie aus dunkelbraunen bis schwarzbraunen Schluffen sowie grauschwarzen bis weißen Fein- und Mittelsanden überlagert, die substanziell zum überwiegenden Teil aus umgelagerten und resedimentierten tertiären Sedimenten aufgebaut sind. Entsprechend hoch ist der Tertiäranteil in den Pollenspektren der eingelagerten Schluffe (Pollenanalyse E in Abb. 1, Strahl 2002): Es überwiegen Vertreter aus der Gruppe Taxodiaceae/Cupressaceae, verschiedene Kiefern-Typen und tricolporate Formen, hinzu kommen *Liquidambar, Symplocus und Sciadopytis*. Daneben erscheinen weitaus seltener mit Erle, Hasel (*Corylus*), Eiche (*Quercus*), Tanne und Fichte (*Picea*) eine Reihe thermophiler Gehölze, die auch älteren quartären Warmzeiten entstammen könnten. Eine nennenswerte Kräuterflora ist nicht entwickelt. Häufiger wurden auch Coenobien der Süßwasseralgen *Pediastrum boryanum* und *P. kawraiskyi* beobachtet, wobei letztere vor allem auf das Quartär beschränkt ist und kühlere Wassertemperaturen anzeigt.
Ein Hinweis auf eine oft diskutierte Wärmeschwankung im Range eines Interstadials oder sogar Interglazials innerhalb des Saale-Glazials ist anhand dieser Befunde somit nicht gegeben. Eingeschaltete Straten und Schlieren aus sandigem Moränenmaterial sowie bis kopfgroße drop stones deuten zusätzlich auf eisrandnahe Ablagerungsverhältnisse hin.

Ohne erkennbaren zeitlichen Hiatus gehen die offensichtlich rein kaltzeitlichen Beckenbildungen in eine mächtige warthezeitliche Geschiebemergelsequenz über, die im gesamten Bereich der Hochfläche das bestimmende Element darstellt (Kühner 2003). Der deckenförmig ausgebildete Moränenkomplex bildet mit seinem Hangenden die rezente Oberfläche und tritt in durchschnittlichen Mächtigkeiten zwischen 5 und 10 m, maximal bis 24 m auf. Im Süden und Westen wird er über morphologisch markante Steilstufen durch weichselzeitliche bis holozäne Sedimente des Baruther Urstromtals, im Osten durch das Tal der rezenten Lausitzer Neiße abgeschnitten. Nach Norden schließen sich die relativ flach einfallenden Sanderflächen des Brandenburger Stadiums an, die von den Hochlagen weichselzeitlicher Endmoränenzüge (Eichberge nordwestlich Taubendorf) durchbrochen werden.

3. Zur Verbreitung und Ausbildung des Tranitzer Fluviatils

Die Verbreitung des Tranitzer Fluviatils als markanter und zur Stratifizierung des Lagerstättenmodells grundlegender Leithorizont ist im Bereich des Tagebaus Jänschwalde durch die komplexe Bearbeitung von ca. 3500, vorwiegend geophysikalisch vermessener Spülbohrungen ausreichend gesichert. Eine direkte Indikation fluviatiler Faziesbereiche innerhalb sandig-kiesiger Sedimentkomplexe und damit die Abgrenzung zu reinen Schmelzwasserablagerungen war jedoch aus messmethodischen Gründen nicht möglich. Erst im Vergleich mit den detaillierten Befunden zahlreicher Böschungskartierungen und entsprechender Geröllanalysen aus Materialbohrungen im Vorfeld des Tagebaus konnte die Verbreitung indirekt auch über das Kurvenbild mit hinreichender Genauigkeit korreliert werden (Abb. 4). Dabei wurde die Interpretation der zum Standardprogramm gehörenden Gamma-, Gamma-Gamma-, Widerstands- und Kaliber-, teilweise in Verbindung mit Neutron-Neutron-Messungen, vor allem durch das Vorhandensein auffälliger und horizontbeständiger, meist schluffig-organogener Einlagerungen und die scharfen Schichtgrenzen zu den über- und unterlagernden Sedimenten unterstützt.
Die Auswertung der Ergebnisse macht deutlich, dass das Tranitzer Fluviatil im Bereich der Hochfläche durch nachfolgende glaziäre, glazifluviatile oder periglaziäre Prozesse nahezu unbeeinflusst geblieben ist und nur vereinzelt und nur in geringem Maße eine Veränderung seiner ursprünglichen Oberfläche durch Verstellung oder Undulation erkennen lässt. Im Gegensatz zu dem im Umfeld durch weichselzeitliche Schmelzwassererosion stark mächtigkeitsreduzierten Schotterkörper kann hier von noch weitestgehend originären Lagerungsverhältnissen ausgegangen werden. Die Oberkante fällt vom Südrand der Hornoer Hochfläche bis in das Gebiet nordwestlich Taubendorf (ca. 8,5 km) relativ gleichmäßig von +72 auf +62 m NHN ein (Abb. 1). Das entspricht einer Neigung von 1,18 m/km, ein fast identisches Gefälle von 1,15 m/km ergibt sich auch für die rund 17 km lange Strecke von den klassischen Aufschlüssen bei Klinge bis nach Taubendorf. Im Vergleich dazu weist das Flussbett der rezenten Lausitzer Neiße in diesem Raum ein Gefälle von ca. 1,3 m/km auf, dabei liegt es ca. 3 bis 5 m unterhalb der saalefrühglazialen Schwemmfächer-Oberkante.
Die Mächtigkeit des Tranitzer Fluviatils erreicht vor allem in den aufgeschotterten Rinnen und Talungen (kartiertes Basisniveau in der Hornoer Rinne um +30 m NHN) Werte bis 40 m und reduziert sich auf den meist noch mit Elster-Moräne bedeckten Hochflächen auf wenige Meter (Abb. 4), teilweise fehlt es auf den exponiertesten Lagen vollständig. Diese Bereiche wurden auf Grund ihres Höhenniveaus nicht mehr überflutet und ragten als Inseln aus der Schwemmfächerebene.

Die fluviatilen Schüttungen beginnen mit einem schwach feinkiesigen Grobsandhorizont, der erosionsdiskordant der Elstermoräne bzw. der anstehenden mittelmiozänen Tertiärfolge aufliegt. An der Basis ist häufig eine ausgeprägte Steinsohle entwickelt, die mit Windkantern in unterschiedlichster Ausbildung und Reife belegt sein kann. Auffällig ist eine markante, olivgrüne bis bräunliche Verfärbung im Hangenden des Geschiebemergels, der zusätzlich in den oberen Dezimetern entkalkt ist. Derartige Erscheinungen konnten auch im ehemaligen Ostrandschlauch des Tagebaus Jänsch-



Legende:
1- Mittelmiozän, ungegl.; 2- elsterzeitliche Schluffe und schluffige Sande; 3- Elster-Moräne; 4- Sande des Tranitzer Fluviatils; 5- Schluffe, z. T. organisch; 6- Drenthe-Moräne; 7- schluffige Sande; 8- Warthe-Moräne

Abb. 4
Geophysikalische Bohrlochmessung mit Darstellung der Gamma-Kurve. Die Abgrenzung der lithologischen Einheiten erfolgt in Verbindung mit Gamma-Gamma-, Widerstands-, Kaliber- und Neutron-Neutron-Messungen (Süssmilch 2008)

Fig. 4
Geophysical bore log (gamma-log). The delineation of the bed boundaries is connected in addition with density log, geoelectrical resistivity, caliber log and neutron-neutron log (Süssmilch 2008)

walde, im Raum Klinge sowie im Tagebau Welzow-Süd (hier wird die Elster-Moräne unmittelbar durch drenthezeitliche Vorschüttbildungen überlagert) mehrfach beobachtet werden. In der Bohrung KT 11464/03 westlich der Hornoer Hochfläche (Pollenanalyse B in Abb. 1) traten über einer entkalkten elsterzeitlichen Folge aus Beckensanden und -schluffen intensiv vergrünte und Pflanzenreste führende Sande, vivianitreiche Schluffmudden sowie Torfe auf (+35,3 bis +39,5 m NHN). Die nachgewiesenen Pollenspektren (Tab. 1) belegen eine Entwicklung von interstadialen zu stadialen Vegetationsverhältnissen, ermöglichen aber keine eindeutige stratigraphische Zuordnung. Rein von ihrer Höhenposition her kämen die Ablagerungen im Bereich des Unteren Tranitzer Fluviatils („Klinger Fluviatil“) zu liegen.
Das Pollenspektrum der Pr. 100051548 (Tab. 1) wird seitens der Gehölze durch Kiefer, Erle und Fichte sowie seltener bzw. nur in Spuren Hainbuche, Tanne, Lärche (*Larix*), Ulme (*Ulmus*) und Eiche charakterisiert. Der Kräuteranteil liegt mit 31% recht hoch und wird hauptsächlich durch Süßgräser (Poaceae), untergeordnet Sauergräser (Cyperaceae) und Heidekraut (*Calluna*) gebildet.
Unter der standorteigenen Flora stechen besonders monolete Farne hervor. Außerdem belegt und für feuchtere Standorte typisch sind Torfmoos (*Sphagnum*) und Mondraute (*Botrychium*). Bezüglich der erhöhten Pollenprozente von Erle, Süßgräsern und monoleten Farnen ist die Existenz von Bruchwaldgemeinschaften auf Feuchtstandorten möglich.
Die darüber folgende Pr. 100051547 (Tab. 1) zeigt einen Erlenrückgang bei gleichzeitiger Ausbreitung der Birke (*Betula*). Angesichts des zum Hangenden erkennbaren negativen Klimagangs kann es sich hierbei sowohl um eine klimatisch bedingte Verdrängung der Erle durch die Birke auf Feuchtstandorten, als auch eine Ausbreitung der Birke innerhalb der zu diesem Zeitpunkt verbreiteten lichten interstadialen Kiefern-Wälder handeln. Dies wird insbesondere durch die anschließende Verdrängung der Kiefer durch die Birke im nachfolgenden Stadial deutlich. Unter den Kräutern blieben weiterhin Süßgräser dominant. Bezüglich der Sumpf- und

Teufe in m/Ident-Nr. Taxa	20,40-20,60 1000 51 548	20,30-20,40 1000 51 547	17,30-17,35 1000 51 546	16,55-16,57 1000 51 545
AP in %				
Juniperus sp.	0,3	1,2	3,0	0,3
Betula sp.	6,0	29,2	15,5	7,2
Pinus sp.	35,8	32,4	3,0	5,1
Quercus sp.	0,6	-	-	-
Corylus sp.	0,3	-	-	+*
Alnus sp.	20,0	8,0	+*	-
Tilia sp.	+*	-	-	-
Carpinus sp.	1,8	-	-	-
Picea sp.	3,6	0,6	-	0,3
Abies sp.	0,3	-	-	-
Larix sp.	0,3	0,3	1,2	0,3
ΣAP in %	**69,0**	**71,7**	**22,7**	**13,1**
NAP in %				
Poaceae	25,1	25,3	43,5	46,3
Cyperaceae	3,3	1,2	31,6	38,8
Calluna sp.	0,9	0,9	-	-
Ericaceae p.p.	-	0,3	-	0,3
Artemisia sp.	-	-	+*	0,6
Rumex sp.	-	-	+*	-
Chenopodiaceae	0,3	-	0,3	-
Caryophyllaceae	0,6	-	0,3	0,3
Tubuliflorae	0,6	0,3	+*	0,3
Liguliflorae	-	-	+*	-
Umbelliferae	-	-	-	0,3
Galium sp.	-	-	0,6	-
Thalictrum sp.	-	0,3	0,3	-
Geranium sp.	-	-	+*	-
Campanula sp.	-	-	+*	-
Achillea sp.	0,3	-	0,3	+*
Gentianaceae	-	-	0,3	-
Σ NAP in %	**31,0**	**28,3**	**77,3**	**86,9**
Σ (AP + NAP)	**335**	**336**	**335**	**335**
Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Moose in %				
Ceratophyllum (Blattstacheln)	-	-	-	0,3
Ranunculus trichophyllos-Typ	-	-	-	0,3
Typha-Sparganium-Typ	0,6	0,3	-	+*
Equisetum sp.	0,3	-	+*	-
Osmunda sp.	0,3	-	-	-
Botrychium sp.	1,2	2,7	-	-
Polypodium vulgare	+*	-	-	-
Pteridium aquilinum	0,3	-	-	-
Monoletes, o.P.	23,0	5,1	0,3	-
Sphagnum	2,4	9,8	-	0,9
Riella-Gruppe	0,3	-	-	-
Triletes, o.P.	-	0,3	-	-
Algen, Plankter u. a. Mikroreste in %				
Pediastrum boryanum	-	-	0,3	5,4
Botryococcus sp.	-	-	+	-
Cyanophyceae	+++	++	+	-
Spirogyra, glatt (*Ovoidites*)	-	0,6	-	0,3
Spirogyra, genetzte Typen	-	-	-	+*
Turbellaria, Bruch	0,3	-	-	-
Varia	0,6	-	0,6	0,6

Tab. 1
Quantitative Pollenspektren der aus der Bohrung KT 11464/03 pollenanalytisch untersuchten Proben (Probenahmepunkt B in Abb. 1)
+ = Form außerhalb der Grundsumme, + = Form vorhanden, ++ = Form häufig, +++ = Form sehr häufig, - = Form nicht nachgewiesen, AP = arboreal pollen (Baumpollen), NAP = nonarboreal pollen (Nichtbaumpollen)*

Tab. 1
Quantitative pollen spectra of the samples investigated by pollen analysis from borehole KT 11464/03 (sampling point B see fig. 1)
+ = out of basis sum, + = present, ++ = often present, +++ = very often present, - = lacking, AP = arboreal pollen, NAP = nonarboreal pollen*

Moorflora ist ebenfalls ein Rückgang monoleter Farnsporen feststellbar, Torfmoose breiteten sich dagegen aus.

Die Proben 100051546 und 100051545 reflektieren gegenüber dem vorher beschriebenen Abschnitt stadiale bzw. kaltzeitliche Bedingungen. Im Vordergrund stehen nun in ihrer Zusammensetzung deutlich kräuterreichere Vegetationsgemeinschaften, vor allem mit Süß- und Sauergräsern, in denen Gehölze nur noch eine untergeordnete Rolle spielten (Tab. 1). Höhere Pollenfrequenzen erreichen lediglich Birke und Kiefer sowie nunmehr auch der Wacholder (*Juniperus*). Der Gesamtgehölzanteil beläuft sich auf nicht mehr als 23% bzw. 13% und geht daher sehr wahrscheinlich, wenn überhaupt, nur auf Strauchformationen zurück.

Auch in den höheren Abschnitten des Tranitzer Fluviatils sind organogene Ablagerungen in mehreren Horizonten und unterschiedlicher Verbreitung ausgebildet. Meist handelt es sich um cm- bis dm-starke Lagen und Schmitzen aus sandigen und stark schluffigen Mudden, selten auch um Torfe

Tab. 2
Quantitatives Pollenspektrum einer aus der Böschung des 1. Brückenschnitts am Hornoer Berg pollenanalytisch untersuchten Probe (+60m NHN, Probenahmepunkt D in Abb. 1)
+ = Form außerhalb der Grundsumme, +++ = Form sehr häufig, AP = arboreal pollen (Baumpollen), NAP = nonarboreal pollen (Nichtbaumpollen)*

Tab. 2
Quantitative pollen spektrum of a sample investigated by pollen analysis from the slope of the 1st conveyor bridge cut, Hornoer Berg (+60m NHN, sampling point D see fig. 1)
+ = out of basis sum, +++ = very often present, AP = arboreal pollen, NAP = nonarboreal pollen*

Baumpollen (AP)	**Anzahl**	**%**	**Nichtbaumpollen (NAP)**	**Anzahl**	**%**
Juniperus sp.	1	0,3	Poaceae	56	16,7
Salix sp.	2	0,6	Cyperaceae	91	27,1
Betula sp.	82	24,4	*Calluna* sp.	2	0,6
Pinus sp.	32	9,5	Ericaceae p.p.	1	0,3
Alnus sp.	2	0,6	*Artemisia* sp.	47	14,0
Picea sp.	1	0,3	*Helianthemum* sp.	7	2,1
Abies sp.	1	0,3	*Rumex* sp.	1	0,3
			Ephedra distachya-Typ	1	0,3
			Rosaceae p.p.	1	0,3
			Armeria maritima	1	0,3
			Plantago sp.	2	0,6
			Thalictrum sp.	1	0,3
			Achillea sp.	1	0,3
			Caryophyllaceae	1	0,3
			Chenopodiaceae	2	0,6
			Polygonum sp.	+*	-
			Tubuliflorae	+*	-
			Galium sp.	+*	-
ΣAP	121	**36,0**	**ΣNAP**	**215**	**64,0**
ΣAP + NAP	335	**100**			
			Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Moose	**Anzahl**	**%**
			Monoletes, o.P.	4	1,2
			Sphagnum sp.	2	0,6
			Ceratophyllum (Blattstacheln)	1	0,3
			Nymphaeaceae-Innenhaare	1	0,3
			Myriophyllum spicatum	+*	-
			Typha-Sparganium-Typ	4	1,2
			Typha latifolia	1	0,3
			Equisetum sp.	1	0,3
			Lycopodium sp.	1	0,3
präquartäre Sporom.	**Anzahl**	**%**	**Algen/Plankter**	**Anzahl**	**%**
Myrica -Typ	1	0,3	*Pediastrum boryanum*	134	39,9
			Pediastrum kawraiskyi	34	10,1
			Spirogyra sp.	1	0,2
			Botryococcus sp.	+++	-
			Varia	1	0,3

oder zusammengeschwemmte Pflanzenreste innerhalb laminierter, schluffig bis stark schluffiger Feinsandkörper. Einmalig wurde bei Kartierungsarbeiten eine graugrüne Schluffmudde mit einer individuenreichen, aber artenarmen Molluskenfauna mit *Gyraulus acronicus* (Férussac 1807, 13 Stück, boreo-alpin bis arktisch-alpin), *Radix* sp. (18 Stück, weit verbreitet), *Pisidium obtusale* f. *lapponicum* (Clessin 1873, 26 Stück, arktisch-alpin) und *Pisidium stewartii* (Preston 1909, 18 Stück, arktisch-alpin) angetroffen (det. S. Meng, Greifswald). Diese zwar artenarme, ausschließlich aus Süßwasserarten bestehende Fauna besitzt trotzdem einen hohen Aussagewert. Die Kaltzeitmuschel *Pisidium stewartii* lebt rezent in den Hochgebirgsstufen des Himalaja, Pamir und Tienschan. Die Form P. *lapponicum* ist eine kaltzeitliche Reaktionsform von *P. obtusale*. Kaltzeitlich geprägt ist zudem *G. acronicus* - rezent ist sie in Skandinavien häufig. Nach den ökologischen Ansprüchen handelt es sich um eine Stillwasserfauna.

Den kaltzeitlichen bzw. stadialen Charakter der Fauna unterstreicht auch das in Tabelle 2 aufgeführte Pollenspektrum (Pollenanalyse D, Abb. 1, bei +60 m NHN). Der offensichtlich sehr schütteren Bewaldung mit hauptsächlich Birke, wenig Kiefer und nur in Spuren Erle, Fichte und Tanne steht eine sehr arten- und individuenreiche Kräuterflora gegenüber. Es dominieren Süß- und Sauergräser sowie vor allem Beifuß (*Artemisia*). Daneben sind Sonnenröschen (*Helianthemum* sp.), Sandnelke (*Armeria maritima*) und Meerträubel (*Ephedra distachya*-Typ) als lichtanspruchsvolle Taxa hervorzuheben.

Die Akkumulation der Schluffmudde erfolgte unter limnischen Verhältnissen: Im Bereich des offenen Wassers waren neben einer Algenflora mit den Grünalgen *Pediastrum boryanum* und der kühlezeigenden P. *kawraiskyi* untergeordnet auch submerse und natante Wasserpflanzen wie das Ährentausendblatt (*Myriophyllum spicatum*), das wärmeanspruchsvolle Hornblatt (*Ceratophyllum* sp.) und Seerosengewächse (Nymphaeaceae) vertreten. Versumpfte Uferrandbereiche dürften im Wesentlichen durch Riede mit den bereits angeführten Sauergräsern aber auch durch Röhrichte mit Rohr- oder Igelkolben (*Typha-Sparganium*-Typ) gekennzeichnet gewesen sein.

Aus dem Höhenniveau +56,5 m NHN, das wieder dem Unteren Teil des Tranitzer Fluviatils entspräche, stammen zwei weitere, aus einem Torf entnommene Proben, von denen aufgrund der gleichartigen Pollenvergesellschaftung nur eine statistisch ausgewertet wurde. Das Pollenspektrum (Pollenanalyse A, Abb. 1, Tab. 3) zeigt einen Vegetationsaufbau, wie er einem nahezu unbewaldeten Spätglazial oder Interstadial entsprechen könnte.
Mit 74 % der Gesamtpollensumme überwiegen die Kräuter, hier insbesondere Sauer- und erst nachgeordnet Süßgräser. Hinzu kommen lichtliebende Taxa, wie u. a. Beifuß und Sonnenröschen sowie Vertreter von an eine gewisse Bodenfeuchte gebundener Hochstaudenfluren, wie Wiesenraute (*Thalictrum*) und Doldengewächse (Umbelliferae).
Innerhalb der vermeintlich nur schwach repräsentierten Baumpollenflora dominieren mit Birke und Wacholder eindeutig lichtanspruchsvolle Gehölze und schließen insbesondere hinsichtlich des schattenintoleranten Wacholders zumindest eine geschlossene Bewaldung sicher aus. Der nur knapp 10 % erreichende Kiefern-Wert spricht, auch bei einem ausschließlichen Bezug auf die Baumpollensumme (= 36 %), gegen größere Bestände des Nadelgehölzes im engeren Untersuchungsgebiet. In Anbetracht des beträchtlichen Kräuter-Anteils ist bestenfalls die Existenz von Strauchformationen oder kleineren Bauminseln, vornehmlich von Birke und Wacholder gebildet, möglich.
Insofern muss der bei immerhin knapp 50 % liegende Sauergras-Anteil besonders betrachtet werden, der hier vor allem auf den Lokaleintrag von in unmittelbarer Standortnähe vorhandenen Beständen, etwa in Vergesellschaftung mit Schachtelhalm (*Equisetum*) innerhalb eines Schachtelhalm-Sauergras-Sumpfes oder von Seggenrieden, zurückgeht. Dieser Lokaleintrag verzerrt das Pollenspektrum erheblich und unterdrückt somit sekundär den Einfluss anderer beteiligter Florenelemente, vorrangig der oben genannten Gehölze.

Tab. 3
Quantitatives Pollenspektrum einer aus der Böschung des 1. Brückenschnitts am Hornoer Berg pollenanalytisch untersuchten Probe (+56,5m NHN, Probenahmepunkt A in Abb. 1)
AP = arboreal pollen (Baumpollen), NAP = nonarboreal pollen (Nichtbaumpollen)

Tab. 3
Quantitative pollen spektrum of a sample investigated by pollen analysis from the slope of the 1st conveyor bridge cut, Hornoer Berg (+56,5m NHN, sampling point A see fig. 1)
AP = arboreal pollen, NAP = nonarboreal pollen

Baumpollen (AP)	**Anzahl**	**%**	**Nichtbaumpollen (NAP)**	**Anzahl**	**%**
Juniperus sp.	10	3,0	Poaceae	66	19,5
Salix sp.	2	0,6	Cyperaceae	163	48,2
Betula sp.	43	12,7			
Pinus sp.	32	9,5	*Calluna* sp.	1	0,3
Ulmus sp.	1	0,3	Ericaceae p.p.	5	1,5
			Artemisia sp.	5	1,5
			Helianthemum sp.	1	0,3
			Chenopodiaceae	1	0,3
			Tubuliflorae	3	0,9
			Cruciferae	1	0,3
			Thalictrum sp.	1	0,3
			Umbelliferae	1	0,3
			Rosaceae p.p.	1	0,3
Σ AP	**Σ = 88**	**26,0**	**Σ NAP**	**Σ = 250**	**74,0**
Gesamt (AP+NAP)	**338**	**100**			
			Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Moose	**Anzahl**	**%**
			Typha latifolia	1	0,3
			Equisetum sp.	4	1,2
			Sphagnum sp.	5	1,5
			Algen/Plankter	**Anzahl**	**%**
			Zygnematales	3	0,9
			Varia	2	0,6

Die klimatische Situation dürfte subarktischen bis maximal kühlgemäßigten Verhältnissen entsprochen haben.

Bereits außerhalb des Untersuchungsgebietes, ca. 9 km südlich der Hornoer Hochfläche liegend, wurden aus dem Bereich unterhalb der Diplomatentribüne am Südrandschlauch des Tagebaus Jänschwalde aus einem innerhalb der klastischen Ablagerungen des Oberen Tranitzer Fluviatils aufgeschlossenen Schluffmuddehorizont weitere 10 Proben pollenanalytisch untersucht. Im Ergebnis konnte eine vierphasige Vegetationsentwicklung mit höchstens interstadialem Charakter ausgehalten werden. Eine eindeutige zeitliche Einstufung der Wärmeschwankung war auch hier nicht möglich.

Moosfarn (*Selaginella selaginoides*) Feuchtansprüche auf. Präquartäre Sporomorphen wurden mit einem Maximalwert von lediglich rund 2% erfasst.
In der LPZ 2 verbleiben die Anteile der Kiefer gegenüber der sich ausbreitenden Birke auf gleichem Niveau wie in der LPZ 1, eine Anwesenheit des Gehölzes im Untersuchungsgebiet ist damit eher unwahrscheinlich. Neben der Birke ist nur die Weide (*Salix*), ebenfalls mit Bindung an bodenfeuchte Areale, von Bedeutung. Bezüglich der beobachteten Pollentypen (u. a. *Salix polaris*-Typ) handelt es sich dabei im Wesentlichen um kleinwüchsige Exemplare. Die mit maximal 1,2% nachgewiesenen Erlenpollen gehen überwiegend auf die Grünerle (*Alnus viridis*) zurück. Noch in der LPZ 2 nehmen präquartäre Sporomorphen (>7%) zu.

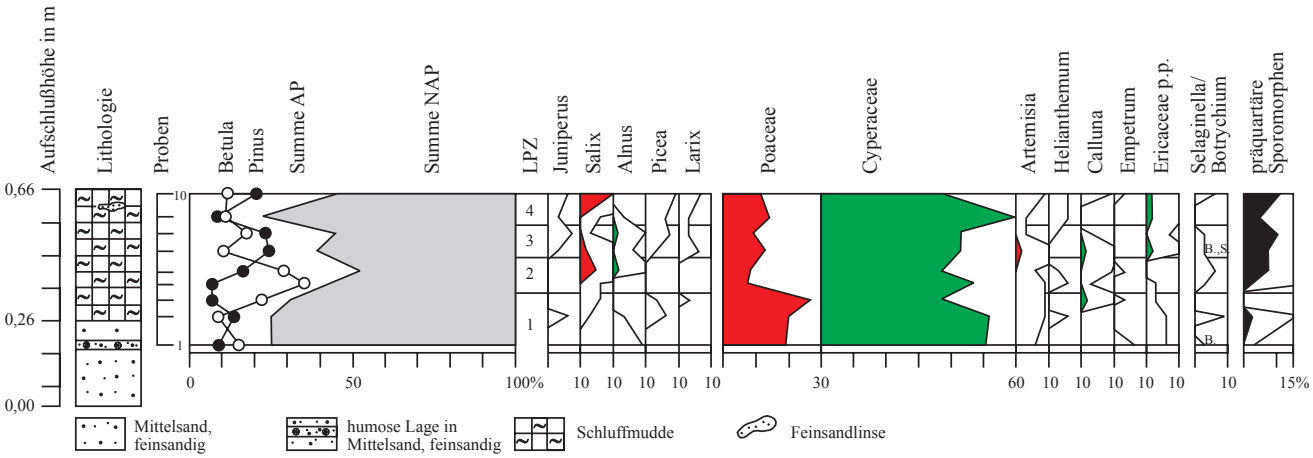


Abb. 5a
Pollendiagramm Oberes Tranitzer Fluviatil, Diplomatentribüne, Tagebau Jänschwalde, ausgewählte Taxa
Grundsumme = Baumpollen + Nichtbaumpollen = AP + NAP = 100% exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste sowie präquartäre Sporomorphen, Werte <1% zehnfach erhöht, AP = arboreal pollen (Baumpollen), NAP = nonarboreal pollen (Nichtbaumpollen)

Fig. 5a
Pollen diagram of the upper Tranitzer Fluviatile, Diplomatentribüne, Jänschwalde opencast mine (selected Taxa)
basis sum = arboreal pollen + nonarboreal pollen = AP + NAP = 100%, excl. swamp- and water plants, spores, algae and other micro remains, prequarternary sporomorphs, values <1% with tenfold exaggeration, AP = arboreal pollen, NAP = nonarboreal pollen

Die im Pollendiagramm (Abb. 5a) als LPZ (lokale Pollenzone) 1 ausgehaltene Vegetationsphase ist durch ein Überwiegen der Kräuterflora mit auch hier vor allem Sauer- und Süßgräsern gekennzeichnet. Die weitere Umgebung des Sedimentationsraumes ist als mehr oder weniger baumfrei anzusehen. Erst im Übergang zur LPZ 2 erfolgt eine durch ihren Kurvenanstieg kenntliche Ausbreitung der Birke. Wegen des erheblichen Anteils der Sauergräser (standorteigene Vegetation, aber auch Eintrag von möglichen Feuchtrasen in der Standortumgebung) ist, wie schon oben beschrieben, auf eine erhebliche Verzerrung der tatsächlichen Vegetationsverhältnisse hinzuweisen. Bis auf den Beifuß und das Sonnenröschen weisen auch alle weiteren häufiger vertretenen Elemente der Kräuterflora, wie verschiedene Heidekrautgewächse (*Calluna*, Ericaceae p. p.) sowie der Zeitgleich erfolgt der Anstieg der Kiefern- sowie der Kräuter (NAP)-Kurve.
Birke und Weide werden in der LPZ 3 scheinbar nur durch die Kiefer verdrängt. Da der Anstieg der Kiefern-Kurve wie oben genannt, zusammen mit der NAP-Kurve (vorwiegend Sauergräser sowie Süßgräser, Beifuß und Heidekräuter) und der präquartären Sporomorphen erfolgt, ist eine Arealnahme hier möglicherweise nur vorgetäuscht. Es häufen sich ebenfalls Nachweise von Fichte und Lärche, wie sie für die Vegetationsentwicklung beispielsweise der Frühweichselinterstadiale Brörup und Odderade typisch sind. Da ihre Pollenfrequenzen unter 1% liegen, ist eine Verbreitung im Gebiet jedoch unwahrscheinlich.
Die LPZ 4 umfasst das Ende der Entwicklung am Standort mit einer wiederholten Kräuterdominanz. Birke und auch

Kiefer erreichen wieder das der LPZ 1 entsprechende Niveau. Häufig bleibt nur die Weide, die wie die Gruppe der Sauergräser Feuchtareale in der unmittelbaren Standortumgebung besetzt haben dürfte.
Zusammenfassend ist festzustellen, dass der innerhalb des Oberen Tranitzer Fluviatils aufgeschlossene Muddehorizont während einer temperaturgünstigen Phase sedimentiert wurde. Die Vegetationsentwicklung besaß bei herrschenden kühlgemäßigten Klimabedingungen maximal interstadialen Charakter.

Eine abweichende Entwicklung reflektiert das Pollendiagramm aus dem ehemaligen Ostrandschlauch im Tagebau Jänschwalde, ca. 5 km nordöstlich des Aufschlusses „Diplo-

Auch die vorgefundene Pollenvergesellschaftung (Abb. 5b) unterscheidet sich klar von den bisher vorgestellten: Zwar deutet die Lokalflora mit vor allem Sauergräsern und Schachtelhalm sowie Fieberklee (*Menyanthes trifoliata*) neben nur sehr vereinzelt vorkommenden Wasserpflanzen, dafür aber erheblich häufigeren Algen (*P. boryanum*, *P. kawraiskyi,* verschiedene *Spirogyra*-Typen) ebenfalls auf eine ursprüngliche Akkumulation innerhalb eines Altarmgewässers hin, jedoch ist die Vegetation der weiteren Standortumgebung durch eine grundsätzlich andere Zusammensetzung gekennzeichnet. Es dominiert hier bei nahezu vollständiger Absenz der Birke durchgehend die Kiefer. Ebenso fehlen die Erle wie auch thermophile Gehölze völlig, es existieren lediglich Einzelfunde der Rotbuche (*Fagus*), des

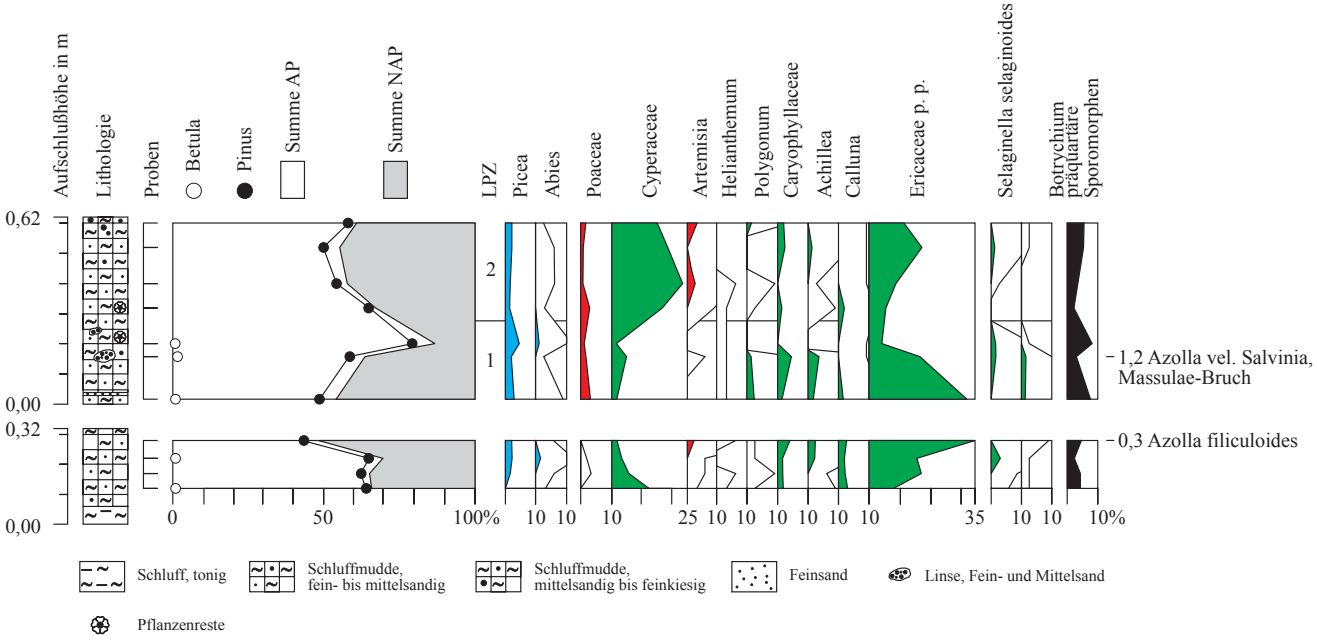


Abb. 5b
Pollendiagramm Oberes Tranitzer Fluviatil, Ostrandschlauch, Tagebau Jänschwalde, ausgewählte Taxa
Grundsumme = Baumpollen + Nichtbaumpollen = AP + NAP = 100% exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste sowie präquartäre Sporomorphen, Werte <1% zehnfach erhöht, AP = arboreal pollen (Baumpollen), NAP = nonarboreal pollen (Nichtbaumpollen)

Fig. 5b
Pollen diagram of the upper Tranitzer Fluviatile, Ostrandschlauch, Jänschwalde opencast mine (selected Taxa)
basis sum = arboreal pollen + nonarboreal pollen = AP + NAP = 100%, excl. swamp- and water plants, spores, algae and other micro remains, prequarternary sporomorphs, values <1% with tenfold exaggeration, AP = arboreal pollen, NAP = nonarboreal pollen

matentribüne“. Die hier in einem 30 cm mächtigen, meist kryogen deformierten Horizont anstehenden bzw. in Form einzelner, umgelagerter Schollen auftretenden Mudden waren an fein- bis mittelkiesig entwickelte Abschnitte des Tranitzer Fluviatils gebunden und repräsentierten bereits von den Sedimentationsbedingungen her deutlich abweichende Verhältnisse zu den oben beschriebenen, meist an niveofluviatile, fein- bis mittelsandige Schüttungen gebundene Bildungen.

Hartriegels (*Cornus*) und noch seltener der Lärche. Dafür häufen sich die Nachweise von Fichte und Tanne, ohne das beide Gehölze die für eine bestandsbildende Anwesenheit im Gebiet nötigen Pollenfrequenzen erreicht haben dürften. Auch die Zusammensetzung der Kräuterflora ist besonders und lässt die Aushaltung von zwei LPZ zu. So ist die LPZ 1 (Abb. 5b) durch das Vorherrschen von Heidekräutern, verhältnismäßig wenig Sauergräsern neben u. a. Knöterich (*Polygonum*), Nelkengewächsen und (Sumpf-?)Schafgarbe

(*Achillea*) sowie Dornigem Moosfarn und Mondraute gekennzeichnet. In LPZ 2 gehen die Heidekräuter zurück, es erscheinen vermehrt Sauergräser und Beifuß. Präquartäre Sporomorphen sind aufgrund des fluviatilen Milieus ebenso wie in den bereits beschriebenen Aufschlüssen/Bohrungen vorhanden, bleiben in der Regel aber unter 5% (Maximum rd. 9%).

Sehr wichtig bezüglich einer stratigraphischen Aussage ist aber neben Bruchstücken der einmalige Beleg eines vollständigen Exemplars des Großen Algenfarns (*Azolla filiculoides*), der eine Stellung in das Saalefrühglazial nahelegen würde. Das ebenfalls in Frage kommende ausgehende Holstein-Interglazial (Pollenzone 7 nach Erd 1973) scheint aufgrund der beschriebenen, da an thermophilen Gehölzen und Birke freien Vegetation bei gleichzeitig häufigeren Fichten und selteneren Tannen-Nachweisen auszuscheiden. Vorstellbar ist die Ausbildung Heidekraut-reicher (soweit keine Bindung an Moorstandorte bestehend), lichter Kiefernwälder mit vereinzelten Fichten-Vorkommen in der Umgebung von Altwässern, die in ihren Randbereichen mit Sauergras-Schachtelhalm-Sümpfen besetzt waren.

In der Zusammenschau reihen sich die vorgestellten pollenanalytischen Untersuchungen, ausgenommen der letzten, seitens ihres stratigraphischen Aussagewertes in die zahlreichen, von Erd (1974a) und Seifert (1973) im Bereich der Weißagker Hochfläche und im ehemaligen Ost- und Südrandschlauch des Tagebaus Jänschwalde (in Nowel et al. 1986 sowie 1992, 1993a, b, 1996a, b, 1994) durchgeführten Analysen ein. Allein anhand der hier vorgefundenen Pollenvergesellschaftungen ist abgesehen von den jüngsten Ergebnissen zum Ostrandschlauch jedoch weder eine zweifelsfreie Einstufung des Tranitzer Fluviatils insgesamt innerhalb des Mittel- bis Jungpleistozäns, noch eine pollenstratigraphische Trennung in einen unteren und oberen Teil sicher möglich.
Zunächst sind derartige, wie oben beschriebene Pollenvergesellschaftungen so oder in ähnlicher Form sowohl für die interstadialen und stadialen Zeiträume der Früh- als auch der Spätglaziale aller drei in Brandenburg nachgewiesenen Vereisungen belegt. Sie lassen eindeutig trennende Kriterien zumindest bei dieser Form der Vegetationsausbildung vermissen. So blieb beispielsweise die gezielte Suche nach dem im Holstein- und Dömnitz-Interglazial auch im Unteren Saale verbreiteten Großen Algenfarn als sicheres Zeitindiz für ein prä-eemzeitliches Alter bis auf die jüngsten Befunde vom Ostrandschlauch ohne Ergebnis. Jedoch ist allein das Argument von Erd (1994), dass der Große Algenfarn in holstein- bis frühsaalezeitlichen Ablagerungen einschließlich des Dömnitz massenhaft beobachtet worden ist und damit eine altersmäßige Entsprechung des Tranitzer Fluviatils anzuzweifeln wäre, so nicht stichhaltig. Dies belegt u. a. der Vergleich mit den zahlreichen, ähnlich ausgebildeten, z. T. ebenfalls Algenfarn-freien aber auffällig an Erlen reichen saalefrühglazialen Pollenvergesellschaftungen aus fluviatilen Ablagerungen des südlichen Berliner Raums (Berliner Elbelauf) und aus dem Gebiet der Prignitz (Strahl in Vorb.) sowie aus dem Bereich des Allertals in Sachsen-Anhalt (Strahl 1997).
Bezüglich der möglichen Trennung von Unterem und Oberen Tranitzer Fluviatil ist zu bemerken, dass in beiden Teilen Erlen-reiche, subboreale bis vielleicht sogar boreale, also interstadiale Verhältnisse anzeigende Pollenvergesellschaftungen beobachtet wurden (vgl. Seifert 1973, Erd zuletzt 1994, Strahl 2001, 2002, 2005). Ebenso verhält es sich mit den arktisch bis subarktischen, auf stadiale Verhältnisse schließen lassende Pollenvergesellschaftungen (vgl. Erd zuletzt 1994, Strahl 2005, 2006) mit lediglich wechselnd hohen Anteilen von Süß- und Sauergräsern. Die Höhe der Anteile präquartärer Umlagerungen sind ebenso kein separierendes Indiz, da ihr Anteil von der jeweiligen Höhenposition tertiärer Ablagerungen und dem damit verbundenen möglichen erosiven Anschnitt abhängt.

Die verschiedenen schluffig-organogenen Horizonte im Bereich der Hornoer Hochfläche sind bei ebener, vereinzelt leicht eingemuldeter Basis relativ niveaubeständig ausgebildet, weisen erosionsbedingt aber überwiegend keine große laterale Verbreitung mehr auf. Im Wesentlichen dürfte es sich bezüglich der vorliegenden Befunde um ehemalige, flache Totwasserarme handeln, in denen sich kurzzeitig ein limnisches Milieu unter Erreichung maximal subborealer bis borealer Klimaverhältnisse entwickeln konnte, bevor sie im Zuge nachfolgender Stromstrichverlagerungen erneut durch fluviatile Sande überschüttet oder teilweise wieder erodiert wurden. Nahezu alle schluffig-organogenen Horizonte sind intensiv durch kryogene Prozesse überprägt und zeigen vielfältige Lagerungsstörungen in Form ausgeprägter Tropfen- und Brodelböden. Im Niveau zwischen +60 und +67 m NHN tritt im obersten Teil des Fluviatils ein hellgrauer bis graubrauner Schluffhorizont in Erscheinung, der mit geringen Beträgen nach Norden einfällt und im gesamten Bearbeitungsgebiet fast flächendeckend erhalten ist. Er ist überwiegend sandig-tonig, mitunter auch schwach feinkiesig (ausschließlich südliches Material) ausgebildet, ungeschichtet und zeigt nur selten organische Beimengungen. Seine Mächtigkeit verringert sich von 1 bis 2 m im nördlichen und mittleren Teil auf wenige cm im südlichen Teil, wo er sich auch infolge kryogener Einflüsse teilweise vollständig auflöst. Die weite Verbreitung im obersten Teil der fluviatilen Serie deutet auf einen zeitweiligen Anstau der Wässer von Spree und Lausitzer Neiße im ausgehenden Frühglazial bis in ein Niveau um +67 m NHN, der möglicherweise schon in Zusammenhang mit dem Vorstoß des Saale-Gletschers steht.

Die fluviatilen Sande sind durch hellgraue bis hellgelbe, fein- und grobsandige Mittelsande repräsentiert und weisen vorwiegend horizontale bis trogförmige Schüttungskörper auf. Feinkiesige Ablagerungen treten untergeordnet in Erscheinung und beschränken sich auf wenige dm-starke Horizonte. Schüttungsrichtungsmessungen in den gröberen, deutlich schräggeschichteten Partien lassen zwei markante Fließrichtungen erkennen. Eine dominierende Richtung weist mit Werten um 0° genau nach Nord, eine

zweite, ebenfalls noch sehr deutlich ausgeprägte Richtung zeigt mit durchschnittlich 276° nach Westen. Beide Ergebnisse spiegeln eindrucksvoll die damalige morphologische Situation wider: Während die nördliche Richtung der allgemeinen Abflussrichtung entspricht, resultiert die westliche Schüttung aus dem Umfließen einer inselartigen Tertiäraufragung unter der Hornoer Hochfläche.

4. Ergebnisse weiterer Spezialuntersuchungen an den Ablagerungen des Tranitzer Fluviatils

4. 1 Lithologische Befunde

4.1.1 Geröllanalyse

Die Geröllzählungen aus dem im Tagebau großflächig aufgeschlossenen Fluviatilkomplex sowie aus dem Kernmaterial mehrerer im Vorfeld gelegener Erkundungsbohrungen lassen für alle untersuchten Proben sehr quarzreiche Geröllspektren (68,6% bis 80,1%) mit hohen Gehalten an südlichen Komponenten erkennen (Tab. 4). Nordisches Kristallin ist durchschnittlich nur mit 8,6%, Feuerstein mit 1,8% vertreten. Sowohl die losen Feldspäte als auch die im Kristallin verwachsenen sind überwiegend gebleicht, mitunter leicht kaolinisiert und zeigen dadurch vorwiegend blassrosa bis weißgraue Färbungen. Die grauschwarzen, vereinzelt auch gelbbraunen Feuersteine fallen durch eine häufig ausgebildete, glänzende und lackartige Oberfläche auf. Diese Exemplare zeigen in der Regel auch stark abgerollte Kanten.

Trotz des allgemeinen Fluviatilcharakters der Schüttungen ist in der quantitativen Schotterzusammensetzung eine deutliche Differenzierung sichtbar, die grundsätzlich auf das Vorhandensein zweier, sich wechselseitig beeinflussender Flusssysteme deutet. Ein Teil der Proben, der vorrangig aus den höheren Niveaus des Schotterkörpers entnommen worden ist, wird durch einen hohen Anteil typischer Isergebirgsfeldspäte charakterisiert. Er liegt zwischen 9,7% und 11,4% und weist in Verbindung mit einem Kieselschiefergehalt von durchschnittlich 2,1% sowie Quarzanteilen um 75% auf das Flusssystem der Lausitzer Neiße. Feuerstein ist mit Anteilen zwischen 0,2% und 2,9% nur gering an der Schotterzusammensetzung vertreten, der Anteil an Kristallin bleibt meist unter 7%. In den aus tieferen Niveaus entnommenen Proben sind die Feldspatgehalte deutlich

Tab. 4 Ergebnisse der Geröllzählungen (Fraktion 4-10 mm, Probenahmepunkte siehe Abb. 1 und 2)

Tab. 4 Results of pebble analyses (fraction 4-10 mm, sampling points see fig. 1 and 2)

Entnahmestelle	lfd. Nr.	Quarz	Feldspat	Kieselschiefer	Feuerstein	Granit/ Gneis	Sandstein/ Quarzit	Unbestimmt
Station 45,7 +64 m NHN	A	80,1	6,5	0,6	2,1	8,3	1,7	0,7
Station 46 +60,3 m NHN	B	71,4	7,4	2,4	1,4	13,7	3,4	0,2
Station 47 +61,6 m NHN	C	68,6	7,8	2	4,3	12,5	3,9	0,9
Station 30,5 +66 m NHN	D	75,4	11,4	2,3	2,3	6,8	1,8	0
Station 30,5 +68 m NHN	E	75,6	9,7	4,5	2,9	4,6	2,7	0
KT 12015/06 +60 m NHN	F	75	11	2,2	0,2	6,8	3,6	1,1
KT 11668/06 +65 m NHN	H	72,7	11,1	0,5	1,9	10,2	3,7	0
KT 11618/06 +57m NHN	I	79,0	7,3	1,1	2,0	5,9	4,1	0,6
KT 12022Z/06 +63,9 - 62,6 m NHN	K	72,3	6,3	0,6	1,6	11,2	3,4	4,6
KT 12011/06 +58m NHN	L	77,1	9,7	1,7	0,7	6,6	4,2	0
KT 11644/06 +57,2 - +56,2 m NHN	M	79,4	6,5	1,4	1,4	8,1	3	0,1
KT 12010/06 +58,6 - +58,1 m NHN	N	74,6	10,4	1,5	1,1	8,7	3,2	0,5

geringer und liegen bei durchschnittlich 6,9%, auch der Kieselschieferanteil ist sichtbar reduziert. Im Gegensatz zu den fleischfarbenen, vielfach schon gebleichten und leicht kaolinisierten Feldspäten aus den höheren Niveaus treten hier zusätzlich auch dunkel- bis silbergraue Feldspäte in Erscheinung, deren abweichende Färbung einen Hinweis auf ein anderes Liefergebiet andeutet. Die geringeren Anteile des Isergebirgsmaterial werden dabei im Wesentlichen nur durch höhere Kristallinanteile ausgeglichen, alle anderen Komponenten lassen keine markanten Verteilungsunterschiede erkennen. Ähnliche Verdünnungserscheinungen der feldspatreichen Neißeschotter sind von Hellwig (1975) aus dem unteren Teil des Tranitzer Fluviatils sowie von Cepek & Nowel (1991) für das Klinger Fluviatil beschrieben worden. Sie lassen sich wahrscheinlich auf die im Oberlausitzer Bergland entspringende Spree zurückführen, deren quarzreiche, aber primär nahezu feldspat- und kieselschieferfreien Schotter mit Neißematerial vermischt wurden. Die in den Geröllanalysen angedeutete Differenzierung in einen unteren, Spree-dominierten Schotter und einen oberen, Neiße-dominierten Schotter entspricht der ursprünglichen Gliederung von Hellwig in ein Unteres und ein Oberes Tranitzer Fluviatil, kommt in den nördlichen Proben (lfd. Nr. F, K, L, N in Tab. 4) aber infolge der offenbar immer intensiveren Verflechtung beider Flusssysteme im Übergangsbereich zum Fünfeichener Becken nicht mehr zum Ausdruck.

4.1.2 Schwermineralanalyse

Die aufgeschlossene schwachkiesige Mittelsandfolge (Lage des Entnahmepunktes siehe Abb. 1) ist strukturell und lithologisch relativ homogen ausgebildet und spricht für generell über einen längeren Zeitraum gleichbleibende Sedimentationsbedingungen.

Die polarisationsmikroskopische Untersuchung der Schwermineralfraktionen 0,1-0,2 und 0,063-0,1 mm zeigt deutungswürdige Häufigkeitsschwankungen in einer makroskopisch monotonen fluviatilen Schüttung (Abb. 6). Auffällig sind gleichsinnig oszillierende Anteile von Pyroxen, der Metamorph-Gruppe und von Zirkon. Da es sich bei der Sandfolge zweifelsfrei um Tranitzer Fluviatil sensu Lippstreu et al. 1994 handelt, also Ablagerungen einer Ur-Neiße, sind die hohen Gehalte an vulkanischen Augiten aus tertiären Basalten der Lausitz und der Sudeten in der Schwermineralfraktion nur folgerichtig. Deren leichte Verwitterbarkeit gegenüber den übrigen Mineralkomponenten eröffnet hier wie auch im vergleichbaren Berliner Elbelauf die seltene Gelegenheit, weitergehende Schlüsse auf die frühsaaleglaziale Landschaftsgenese zu ziehen. In den meisten sandigen pleistozänen Sedimenten ist das aufgrund fehlender Indikatorminerale nicht möglich.

Die Profilabschnitte mit niedrigen Pyroxen-Gehalten und Anreicherungen mit stabilen Mineralen (Zirkon u. a.) wer-

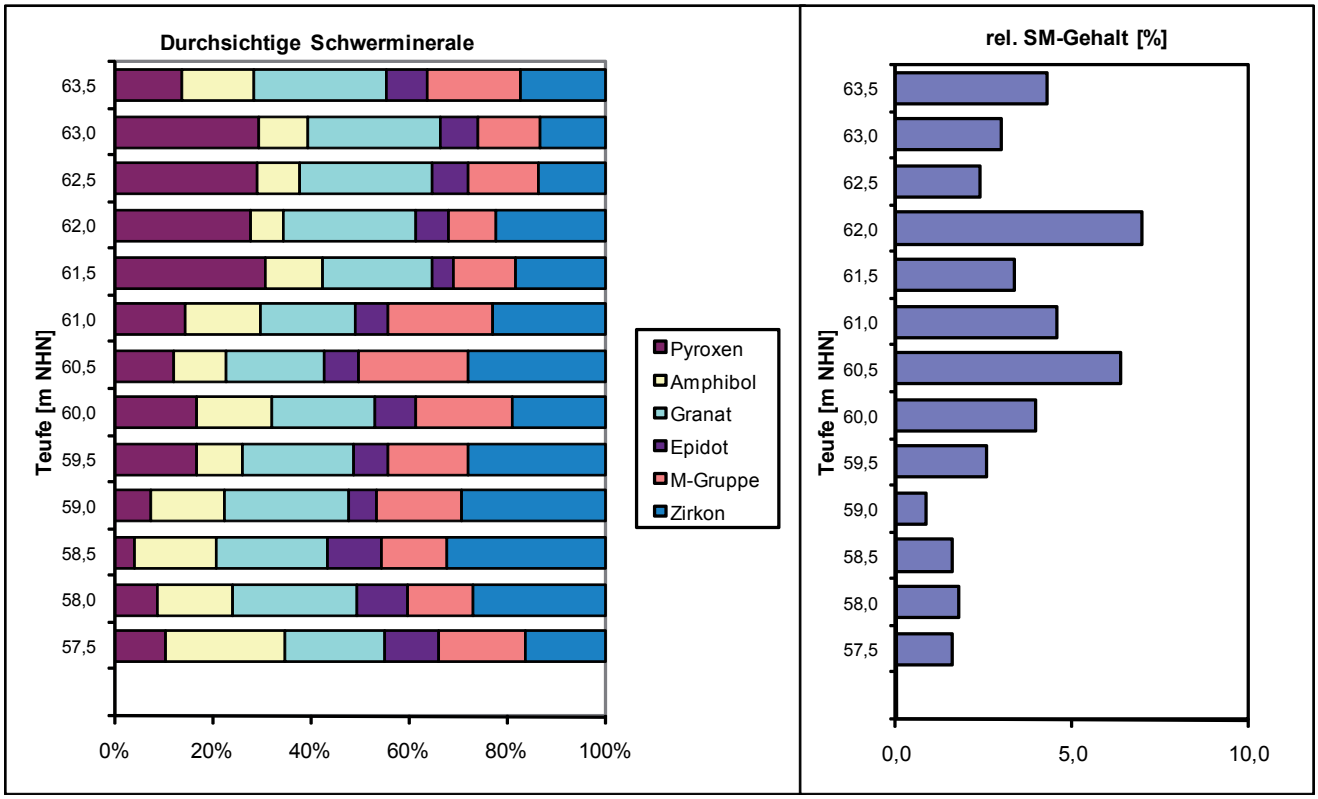


Abb. 6 *Schwermineraldiagramm (Probenahmepunkt siehe Abb. 1)*

Fig. 6 *Diagram of heavymineral analysis (sampling point see fig. 1)*

den verwitterungsintensiveren Klimaphasen (interstadiales fluviatiles Ablagerungsmilieu, reifes Sediment) zugeschrieben als die Profilteile mit ca. >20% Pyroxen, die stadialen Sedimentationsbedingungen zugeordnet werden. Gestützt wird diese Deutung durch die damit positiv korrelierenden relativen Schwermineralgehalte als Befunde für ein reiferes fluviatiles Sediment.
Eine weitere Deutungsmöglichkeit lassen die framboiden (himbeerartig geformten) Sulfide zu, die mikrobiellen Ursprungs sind und auf eine sauerstoffarme bis -freie Verlandungsfazies von stagnierenden Gewässern hinweisen (Abb. 6, Profiltop). Dieser Sachverhalt und der relativ niedrige Pyroxengehalt könnten darauf hinweisen, dass ein mittlerer interstadialer und der obere frühsaalezeitliche Profilabschnitt durch fluviatile Erosion gekappt wurden. Ein vollständiges Profil über eine größere Klimaschwankung müsste in diesem Raum mehr Schwermineral-Ausmerzungsbefunde, biogene Sulfide und vor allem höhere Pyroxenanteile der kaltzeitlichen Vorschüttsedimente aufweisen (Strahl & Thieke 2004).

4.1.3 Geochronometrische Altersbestimmung

Die ersten Altersbestimmungen für den saalefrühglazialen Schotterkomplex sind (noch unter der Annahme einer intrasaalezeitlichen Schüttung) bereits 1994 im Südrandschlauch des Tagebaus Jänschwalde von Krbetschek & Stolz (1994) durchgeführt worden. Als Ergebnis wurde für eine Schluffschicht (ca. +64 m NHN) im unteren, relativ feinkörnigen Abschnitt („Klinger Fluviatil“) ein korrigiertes TL-Alter von 336 - 248 ka, für eine Schluffschicht (ca. +74 m NHN) mit subarktischem Pollenspektrum (Erd in Nowel et al. 1986, Erd 1994) aus dem oberen Abschnitt des Tranitzer Fluviatils ein korrigiertes TL-Alter von 290 - 208 ka ermittelt. Im Rahmen neuerer Untersuchungen und weiterentwickelter Messmethodik konnte das zeitliche Fenster für die Ablagerung der Flussschotter im Raum Klinge auf der Basis von Infrarot-Radiofluoreszenz-Datierungen bei 270 ± 25 ka präzisiert werden (Krbetschek, Degering & Alexowsky 2008). Die Werte dokumentieren ein relativ frühes Stadium in der Entwicklung des Flusssystems von Neiße und Spree, die zu diesem Zeitpunkt bereits die elsterzeitlich angelegten Talungen aufgeschottert haben mussten und nun auch die angrenzenden, vielfach noch mit den Resten der Elster-Moräne bedeckten Hochlagen mit ausgedehnten Schwemmfächern überzogen.

Wesentlich geringere Alterswerte ergaben sich dagegen unter der ca. 9 km nördlich gelegenen Hornoer Hochfläche (Abb. 1). Hier wurde 2004 ein ca. 5 m mächtiger Flussschotter beprobt, der unmittelbar den groben Schmelzwassersedimenten im Hangenden der Elster-Moräne auflagerte. Bei Ansatz des allgemeinen Gefälles im Schwemmfächer von 1,2 m/km lagen die Entnahmepunkte für diese Proben (1-3 in Abb. 2) niveaumässig über den datierten Horizonten von Klinge und ließen einen stratigraphisch jüngeren Abschnitt in der Entwicklung des Fluvialtilkomplexes vermuten. Die Ergebnisse der Infrarot (IR)-Radiofluoreszenz (RF)-Datierungen konnten diese Vermutung bestätigen und wiesen für die untere Probe, ca. 0,8 m über den elsterzeitlichen Schmelzwasserschottern, ein IR-RF-Alter von 171 ±15 ka aus (Krbetschek, Degering & Alexowsky 2008). Zwei weitere Proben aus dem oberen Abschnitt belegen das Andauern der saalefrühglazialen Schotterakkumulation bis 158 ±9 ka bzw. 149 ±8 ka. Darüber folgt konkordant das glaziäre Saale mit geringmächtigen, feinsandig-schluffigen Vorschüttbildungen und der Drenthe-Moräne.

Damit kann das Tranitzer Fluviatil, neben der bislang ausschließlich auf der Überlagerung durch die Drenthe-Moräne beruhenden stratigraphischen Position (Lippstreu et al. 1994, Eissmann 1997, Kühner 2003), auch durch die Ergebnisse unterschiedlicher Lumineszenzdatierungen als Ablagerung des Unteren Saale bestätigt werden. In Übereinstimmung mit den Befunden aus dem mitteldeutschen Raum ergibt sich der Beginn des Saale-Hochglazials vor ca. 150 ka und eine vorangehende, sehr lange Frühglazialphase, die, bei einer Zuordnung des Holstein-Interglazials zur marinen Sauerstoff-Isotopen-Stufe 9, rund 160 ka andauerte (Krbetschek, Degering & Alexowsky 2008).

5. Das Eem von Jänschwalde

Neben den zahlreichen, aber relativ geringmächtigen Schluff- und Muddelagen konnten im Rahmen der planmäßigen Erkundung im Nordwesten des Bearbeitungsgebietes organogene Ablagerungen erbohrt werden, die in größeren Mächtigkeiten auftraten und ein geschlossenes Verbreitungsgebiet bildeten (Abb. 2). Die Lage des Vorkommens im Niveau des Tranitzer Fluviatils ließ entsprechende frühsaalezeitliche Bildungen vermuten, so dass ein kompletter Bohrkern von 5 m Länge für die pollenanalytische Bearbeitung (Pollenanalyse C in Abb. 1) zur Verfügung gestellt wurde. Im Rahmen der Untersuchungen musste die erwartete Einstufung jedoch revidiert und die Ablagerungen als eemzeitlich eingestuft werden (s. ff.).
Das Eem-Becken besitzt eine N-S orientierte, ca. 1 700 m lange und bis zu 400 m breite, rinnenartige Form (Abb. 1). Seine Basis ist unmittelbar in die Schwemmfächersedimente des Tranitzer Fluviatils eingetieft und wird durch grauschwarze, kalkhaltige und vereinzelt bereits humose Feinsande des Saalespätglazials gebildet. Im Liegenden folgen geringmächtige, vermutlich auch schmelzwasserbeeinflusste Sande mit Geschiebemergelresten. Ihre genaue Abgrenzung zum Frühsaalefluviatil ist auf Grundlage des gegenwärtigen Erkundungsstandes nicht sicher möglich, in der Bohrung KT 12011/06 konnte es bereits 2,5 m unter der eemzeitlichen Mudde durch Geröllzählungen (lfd. Nr. L in Tab. 4) belegt werden. Hochglaziale Ablagerungen, wie die im östlich anschließenden Gebiet flächendeckend ausgebildete Drenthe-Moräne, sind hier, wie auch im gesamten Bereich der Rinnenstruktur, nicht vorhanden.

Die eemzeitlichen Ablagerungen wurden in Mächtigkeiten bis 7,2 m nachgewiesen. Im Wesentlichen treten kalkhaltige

Schluffmudden mit wechselnden Ton- und Schluffgehalten in Erscheinung, in denen makroskopisch jedoch kaum eine lithologische Differenzierung erkennbar wird. Die Färbung reicht von olivgrünen bis zu schwarzgrauen Tönen, die nicht horizontbezogen ausgebildet sind, sondern wolkig bis schlierig ineinander übergehen. Blatt- und Gewebereste, Samenkörner sowie sonstige Makroreste treten nur untergeordnet auf. Das gekappte Profil (vgl. Kap. 5.2) wird durch vielfach noch schluffig bis stark schluffig entwickelte Fein- und Mittelsande diskordant überlagert. Sie führen vereinzelt Pflanzenhäcksel und aufgearbeitete Muddegerölle sowie mm- bis dm-starke Schluff- und Faulschlammlagen und repräsentieren vermutlich eine frühweichselzeitliche, überwiegend minerogen geprägte Phase der Beckenentwicklung. Darüber folgen mit einer markanten Erosionsdiskordanz die groben, hochweichselzeitlichen Schmelzwasserschotter des Taubendorfer Sanders.

Die pollenanalytische Voruntersuchung des Profils der Bohrung THW 11685/06 erbrachte eine für die Erkundungsarbeiten zunächst ausreichende stratigraphische Information. Die gute Überlieferung des Übergangs Saalespätglazial/ Eem-Interglazial veranlasste jedoch zu einer weiteren Probenverdichtung, da insbesondere das frühe Eem mit den sehr kurzen PZ 1-3 (absolute Dauer Birken-Zeit ca. 100 a, Kiefern-Birken-Zeit ca. 200 a und Kiefern- Birken-Eichenmischwald-Zeit ca. 450 a, Müller 1974) durch erfahrungsgemäß geringe Sedimentationsraten gekennzeichnet und daher oft, meist aufgrund zu großer Probenabstände, nur fragmentarisch dokumentiert ist.
Die pollenstratigraphische Gliederung der Sequenz folgt in modifizierter Form für das Saalespätglazial bzw. das Eem den Zonierungen von Menke & Ross (1967) bzw. Erd (1973). Weitere Details zu den beiden stratigraphischen Einheiten sind dem Beitrag Hermsdorf & Strahl (dieses Heft) zu entnehmen.

5.1. Saalespätglazial

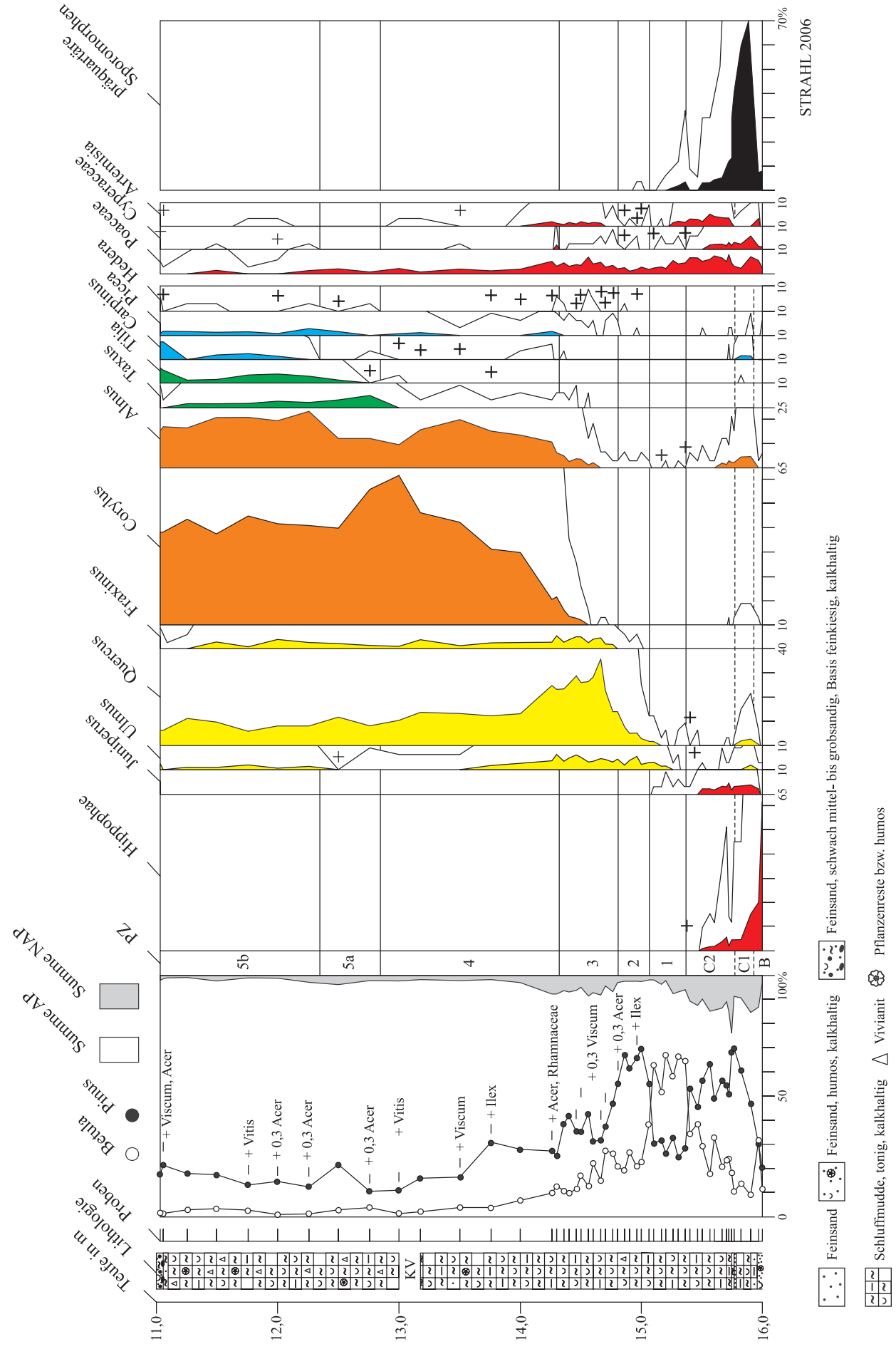
Die noch pleniglaziale, waldfreie PZ A sensu Menke & Ross (1967) als erste Phase des Saalespätglazials wurde hier nicht erfasst. Der Topbereich des an der Basis des Profils liegenden Feinsandes erbrachte bereits der PZ B entsprechende Pollenspektren (Abb. 7). Kennzeichnend ist die starke Ausbreitung von Sanddorn-(*Hippophaë*)-Gebüschen innerhalb einer noch offenen, durch Kräuter beherrschten Landschaft. Dazu gehörten im vorliegenden Fall vor allem Süß- und Sauergräser, Beifuß, Gänsefußgewächse (Chenopodiaceae) und verschiedene Heidekrautgewächse. Die ermittelten Sanddornwerte sind in ihrer Höhe (Maximum 61%) insbesondere mit den Vorkommen von Schönfeld bei Calau (Seifert 1996) und dem Klinger Hauptprofil (Seifert 1992) vergleichbar. Durch den Sanddorn werden bevorzugt instabile, basenreiche Pionierstandorte ohne Schattdruck durch andere Gehölze besiedelt. Die Anteile an umgelagerten präquartären Sporomorphen bleiben hier jedoch unter 10%.

Der lithologische Wechsel von Feinsand zu Sandmudde und anschließend kalkhaltiger Schluffmudde wird durch einen erheblichen Eintrag an präquartären (maximal 70%) und möglicherweise auch älterinterglazialen Sporomorphen begleitet. Generell ist ein Rückgang des Sanddorns zugunsten von Wacholder und Kräutern, wie für die PZ C1 zu erwarten, zwar erkennbar, wird jedoch durch den gleichfalls erfolgenden, allerdings sekundären, auf Resedimentation zurückgehenden Anstieg der Werte von Kiefer und wärmeliebenden Gehölzen (insbesondere Erle, Eiche und Ulme) überlagert. Eine zweifelsfreie Zuordnung zur PZ C1 ist daher nicht möglich.

Der Abschnitt der PZ C2 ist durch die Etablierung lichter, in der Regel durch die Kiefer gebildeter Waldbestände cha-

Abb. 7
Eem-Vorkommen Jänschwalde - Pollendiagramm der Bohrung THW 11685/06, Hornoer Hochfläche (Probenahmepunkt C in Abb. 1, ausgewählte Taxa)
Grundsumme = Baumpollen + Nichtbaumpollen = AP + NAP = 100% exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste sowie präquartäre Sporomorphen, Werte <1% zehnfach erhöht, + = außerhalb der Grundsumme, AP = arboreal pollen (Baumpollen), NAP = nonarboreal pollen (Nichtbaumpollen)

Fig. 7
Eemian deposit of Jänschwalde - pollen diagram of borehole THW 11685/06, upland plain of Horno (sampling point C see fig. 1, selected Taxa)
basis sum = arboreal pollen + nonarboreal pollen = AP + NAP = 100%, excl. swamp- and water plants, spores, algae and other micro remains, prequarternary sporomorphs, values <1% with tenfold exaggeration, + = out of basis sum, AP = arboreal pollen, NAP = nonarboreal pollen


STRAHL 2006
Teufe in m
Lithologie
Proben
Betula
Pinus
Summe AP
Summe NAP
pZ
Hippophae
Juniperus
Ulmus
Quercus
Fraxinus
Corylus
Alnus
Taxus
Tilia
Carpinus
Picea
Hedera
Poaceae
Cyperaceae
Artemisia
Präquartäre Sporomorphen
+ Viscum, Acer
+ Vitis
+ 0,3 Acer
+ 0,3 Acer
+ 0,3 Acer
+ Vitis
+ Viscum
+ Ilex
+ Acer, Rhamnaceae
+ 0,3 Viscum
+ 0,3 Acer
+ Ilex
5b
5a
4
3
2
1
C2
C1
B
KV
11,0
12,0
13,0
14,0
15,0
16,0
Feinsand
Feinsand, humos, kalkhaltig
Feinsand, schwach mittel- bis grobsandig, Basis feinkiesig, kalkhaltig
Schluffmudde, tonig, kalkhaltig
Vivianit
Pflanzenreste bzw. humos

rakterisiert. Auf die Problematik der erheblichen Kiefern-Ausbreitung vor der früheemzeitlichen Birken-Ausbreitung sei nochmals auf den Beitrag Hermsdorf & Strahl (dieses Heft) verwiesen. Ergänzend sei hier bemerkt, dass eine Klärung, welche Kiefernart diese Ausbreitung verursachte, auch über eine Trennung der sowohl in Frage kommenden Waldkiefer (*Pinus sylvestris*) und der Berg- oder Latschenkiefer (*P. mugo*) mittels der hier häufig nachgewiesenen Spaltöffnungen wegen der sehr großen Ähnlichkeit beider Arten nicht möglich war.
Die zwischen 10-15% erreichenden Kräuteranteile werden im Wesentlichen durch Süß- und Sauergräser, Beifuß, Sonnenröschen, Gänsefußgewächse und seltener Steinbrech (*Saxifraga*), Gipskraut (*Gypsophila*) und Meerträubel gebildet.
Bezüglich der Entwicklung der standorteigenen Vegetation bleiben Pflanzen der Sumpf- und Wasservegetation bis auf häufigere Nachweise des Schachtelhalms bis in die Eem-Warmzeit hinein nahezu bedeutungslos. Unter den Algen ist lediglich *Pediastrum boryanum* hervorzuheben.
Erosive Einflüsse lassen in diesem Abschnitt deutlich nach, das belegen die sinkenden Feinsandgehalte in der jetzt akkumulierten Schluffmudde sowie die deutlich abfallende Kurve der präquartären Sporomorphen unter 10 bzw. 3% (Abb. 7).

5.2 Eem-Interglazial

Die Bohrung THW 11685/06 lässt sich hinsichtlich der erfassten eemzeitlichen Vegetationsentwicklung prinzipiell in die bisher aus der Lausitz bekannten Eem-Vorkommen (u. a. Kerkwitz-Atterwasch (Erd 1960), Kittlitz (Erd 1973), Schönfeld (Erd 1991), Klinge (Strahl 2004a, Velichko et al. 2005, Seifert-Eulen 2007), Tschernitz (Strahl 2004b), Rehnsdorf, Wolkenberg und Wolkenberg I (Kühner & Strahl 2008)) einreihen und zwanglos mit diesen vergleichen.
Es zeigt sich mit der PZ 1 nach Erd (1973) das typische Bild der früheemzeitlichen Birken-Dominanz bei deutlichem Rückgang der Kiefer und der Kräuter. Noch während der PZ 1 begann die Ulme und im Übergang zur PZ 2 auch die Eiche in das Gebiet einzuwandern.
An standorteigener Vegetation sind monolete Farne erwähnenswert, wegen des fehlenden Perispors ist jedoch keine Artzuweisung möglich. Des Weiteren wurden an Algen häufiger pennate Diatomeen beobachtet. Umgelagerte Sporomorphen wurden in diesem Zeitraum immer seltener und klangen noch in der PZ 1 aus.

Die Kiefern-Birken-Zeit (PZ 2) konnte aufgrund der Probenverdichtung mit immerhin vier Proben belegt werden. Die immer noch lichte Bewaldung (nach wie vor Süßgräser und Beifuß reichlich vertreten) wurde nun durch die Kiefer beherrscht (Pollenfrequenz maximal 70%), daneben breiteten sich Ulme und Eiche sukzessive weiter aus. Ausdruck der zunehmenden Erwärmung sind neben den genannten Laubgehölzen aber auch erste Nachweise von Efeu (*Hedera*) und Stechpalme (*Ilex*).
In der PZ 3 (Kiefern-Eichenmischwald-Zeit) lösten Eichendominierte Laubmischwälder die taigaähnliche Kiefern-Birken-Vegetation der PZ 2 ab. Neben der Eiche (maximal 35%) und der Ulme etablierten sich die Esche (*Fraxinus*) und im Übergang zur PZ 4 Hasel und Erle. Außer dem Efeu erreichten weitere, ozeanisch bis subozeanisch geprägte Elemente, wie die Mistel (*Viscum*), der Ahorn (*Acer*) und die Binsenschneide (*Cladium mariscus*) das Gebiet.

In der PZ 4 (Eichenmischwald-Hasel-Zeit) erfolgte die für die Eem-Warmzeit typische, massive Ausbreitung der Hasel, begleitet durch die Erle auf Feuchtstandorten. Eiche, Ulme und auch die Kiefer wurden entsprechend zurückgedrängt. Vereinzelt erschien bereits Eibe (*Taxus*) und Fichte im Gebiet. Als Waldbegleiter etablierte sich der Adlerfarn (*Pteridium aquilinum*).

Mit der PZ 5 (Hasel-Eiben-Linden-Zeit) bricht die eemwarmzeitliche Entwicklung ab. Das Profil wird erosiv durch Feinsande gekappt, in denen Schluffmudden der jüngeren Eem-Warmzeit aufgearbeitet wurden.
Neben der Hasel waren in der Subzone 5a Bestände mit Eibe und in der Subzone 5b mit Linde (*Tilia*) maßgeblich. Der Übergang zur PZ 6 deutet sich im Profil mit dem Anstieg der Hainbuchen-Kurve, der in die beginnende Schattholzphase des Eems überleitet, gerade noch an.

Zusammenfassung

Das Tranitzer Fluviatil repräsentiert einen wichtigen lithostratigraphischen Leithorizont für die Quartärgliederung im Südosten von Brandenburg. Es ist im Tagebau Jänschwalde großräumig aufgeschlossen und wird durch die vorgestellten Ergebnisse zahlreicher Geröll-, Schwermineral- und Pollenanalysen detailliert beschrieben. Seine stratigraphische Stellung im Saalefrühglazial wird durch neue Infrarot-Radiofluoreszenz-Datierungen unterstützt.
Die Schüttung des Tranitzer Fluviatils erfolgte durch das Flusssystem von Lausitzer Neiße und Spree. Schwermineralanalysen und Pollenanalysen lassen mehrere Klimaschwankungen mit stadialen bis interstadialen Verhältnissen erkennen. Die überwiegend indifferenten Pollenspektren gestatten jedoch keine weitere zeitliche Untergliederung der fluviatilen Abfolge innerhalb des Saalefrühglazials.
Im Nordwesten des Bearbeitungsgebietes wurde außerdem ein neues Eem-Vorkommen nachgewiesen (Eem Jänschwalde) und pollenanalytisch beschrieben.

Summary

The Tranitzer Fluviatil represents an important lithostratigraficaly marker-horizon for the stratification of quaternary sediments in the southeast of Brandenburg. It is spaciously

exposed in the Jänschwalde opencast mine and is described in detail by numerous pebble-, heavy mineral- and pollen-analyses. The stratigrafical position is assisted by current infrared-radiofluorescence age determinations.

The deposit of the Tranitzer Fluviatil occurred by the river systems of the former Lausitzer Neiße and Spree river. Heavy mineral- and pollen-analyses shows several climate variations with stadial up to interstadial nature. However, the predominantly indifferent contents of pollen do not allow detailed subdivision of the fluvialtile sediment succession within the Early Saalian.
Furthermore a new Eemian deposit in the northern part of the area under research was detected (so called Eemian of Jänschwalde) and described by pollen analyses.

Literatur

Cepek, A. G. & W. Nowel (1991): Zum Pleistozän im Raum Klinge-Dubrau (östliche Niederlausitz), ein Typusgebiet für den Saale-Komplex. - Z. geol. Wiss. **19**, 3, S. 289-316, Berlin

Cepek, A. G., Hellwig, D. & W. Nowel (1994): Zur Gliederung des Saale-Komplexes im Niederlausitzer Braunkohlenrevier. - Brandenburg. geowiss. Beitr. **1**, 1, S. 43-83, Kleinmachnow

Eissmann, L. (1997): Das quartäre Eiszeitalter in Sachsen und Nordostthüringen. - Altenbg. nat. wiss. Forsch. **8**, S. 1-98, Altenburg

Erd, K. (1960): Das Eem-Interglazial von Kerkwitz-Atterwasch bei Guben. - Wissenschaftliche Zeitschrift der Pädagogischen Hochschule Potsdam, Math.-Naturw. Reihe **6**, 1/2, S. 107-118, Potsdam

Erd, K. (1973): Pollenanalytische Gliederung des Pleistozäns der Deutschen Demokratischen Republik. - Z. geol. Wiss. **1**, S. 1087-1103, Berlin

Erd, K. (1974a): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung eines Profils aus der Kiesgrube Weissagk 1973. - Bericht ZGI Berlin vom 25.04.1974, 6 S., Berlin (unveröff.)

Erd, K. (1974b): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrung T 1504/71 Cottbus Nord. - Bericht ZGI Berlin vom 27.08.1974, 10 S., Berlin (unveröff.)

Erd, K. (1983): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrung Braunkohle Hornow-Jänschwalde Süd 5007/83. - Bericht ZGI Berlin vom 18.10.1983, 2 S., Berlin (unveröff.)

Erd, K. (1991): Vegetationsentwicklung und Pollenanalysen im Eem-Interglazial und Weichsel-Frühglazial von Schönfeld, Kreis Calau. - Natur und Landschaft in der Niederlausitz, Sonderheft, S. 71-81, Cottbus

Erd, K. (1992): Bericht zur pollenanalytischen Einstufung von Quartärproben aus dem Ostrandschlauch des Tagebaus Jänschwalde-Mitte 1989. - Bericht LGRB vom 03.09.1992, 4 S., Kleinmachnow (unveröff.)

Erd, K. (1993a): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung von Proben aus dem Tagebau Jänschwalde 1992. - Bericht LGRB vom 18.06.1993, 5, S., Kleinmachnow (unveröff.)

Erd, K. (1993b): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung von Aufschlussbeprobungen aus dem Tagebau Jänschwalde-Mitte 1986/1987. - Bericht LGRB vom 22.10.1993, 11 S., Kleinmachnow (unveröff.)

Erd, K. (1994): Palynologische Aussagen zum Holstein- und Saale-Komplex im Gebiet des Tagebaus Jänschwalde. - Brandenburg. geowiss. Beitr. **1**, 1, S. 36-42, Kleinmachnow

Erd, K. (1996a): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung von Proben aus dem Tagebau Jänschwalde-Mitte 1994. - Bericht LGRB vom 06.02.1996, 2 S., Kleinmachnow (unveröff.)

Erd, K. (1996b): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung einer Probe aus dem Tagebau Jänschwalde-Mitte 1993 (Tranitzer Fluviatil, unterhalb Baumstamm). - Ber. LGRB vom 20.02.1996, 3 S., Kleinmachnow (unveröff.)

Hannemann, M. (1964): Quartärbasis und älteres Quartär in Ostbrandenburg. - Z. angew. Geol., **10,** S. 370-376, Berlin

Hannemann, M. (1967): Neue quartärgeologische Untersuchungsergebnisse in Ostbrandenburg. Das Pleistozän im östlichen Brandenburg. - Kurzref. u. Exkurs.-F. 7. Treff. Sekt. Quartärgeol. Deutsch. Ges. geol. Wiss., S. 57-86, Berlin

Hellwig, D. (1975): Fluviatile Bildungen innerhalb des Saale-Komplexes im Raum Cottbus-Forst. - Z. geol. Wiss. **3,** 8, S. 1077-1090, Berlin

Krbetschek, M. R. & W. Stolz (1994): Lumineszenz-Datierungen an pleistozänen Sedimenten aus Tagebauen des Mitteldeutschen und Lausitzer Braunkohlenreviers. - In: Eissman, L. & T. Litt (Hrsg.): Das Quartär Mitteldeutschlands, Exkursionsf. 27. DEUQUA-Tagung in Leipzig. - Altenburger naturwiss. Forsch. **7**, S. 289-295, Altenburg

Krbetschek, M. R., Degering, D. & W. Alexowsky (2008): Infrarot-Radiofloureszenz-Alter (IR-RF) der Unteren Saale Mittel- und Ostdeutschlands. - Z. dt. Ges. Geowiss. **159**, 1, S. 133-140, Stuttgart

Kühner, R. (2003): Ausbildung und Gliederung des saalezeitlichen Sedimentkomplexes im Bereich der Hornoer Hochfläche. - Brandenburg. Geow. Beitr. **10**, 1/2, S. 111-121, Kleinmachnow

Kühner, R. & J. Strahl (2008): Die Eem-Vorkommen am Außenrand der warthestadialen Vereisung im Tagebau Welzow-Süd, Niederlausitz. - Z. dt. Ges. Geowiss. **159**, 2 S. S. 191-204, Stuttgart

Lippstreu, L., Hermsdorf, N., Sonntag, A. & H. U. Thieke (1994): Zur Gliederung der quartären Sedimentabfolgen im Niederlausitzer Braunkohlentagebau Jänschwalde und in seinem Umfeld – Ein Beitrag zur Gliederung der Saale-Kaltzeit in Brandenburg. - Brandenburg. geowiss. Beitr. **1**, 1, S. 15-35, Kleinmachnow

Lippstreu, L. & W. Stackebrandt (2003): Jänschwalde und die Gliederung des Saale-Komplexes – ein Kommentar zum Beitrag von Werner Nowel. - Eiszeitalter u. Gegenwart **52**, S. 84-90, Hannover

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

Menke, B. & P. H. Ross (1967): Der erste Fund von Kieselgur in Schleswig-Holstein bei Brokenlade, südlich von Neumünster. - Eiszeitalter u. Gegenwart **18**, S. 113-126, Öhringen

Müller, H. (1974): Pollenanalytische Untersuchungen und Jahresschichtenzählungen an der eem-zeitlichen Kieselgur von Bispingen/Luhe. - Geol. Jb. **A 21**, S. 149-169, Hannover

Nowel, W., Cepek, A. G., Erd, K., Kühner, R., Striegler, U. & R. Striegler (1986): Schichtenfolge und Lagerungsverhältnisse des Quartärs im Raum Klinge-Dubrau (Krs. Forst). - In: 25 Jahre Arbeitskreis „Quartärgeologie“ der GGW. - Kurzreferate und Exkursionsführer, Tagung Berlin 1986, 48 S., Ges. Geol. Wiss., Berlin

Nowel, W. (1996): Aktuelle Bemerkungen zur Gliederung des Saale-Komplexes im Quartär der Niederlausitz. - Natur u. Landschaft in der Niederlausitz **17**, S. 54-77, Cottbus

Nowel, W. (2007): Zur geologischen Entwicklung und Erforschung der Gegend um Klinge. - Natur u. Landschaft in der Niederlausitz **24**,S. 9-52, Cottbus

Nowel, W. & A. G. Cepek (1988): Das Pleistozän von Klinge-Dubrau (Kr. Forst). - Natur u. Landsch. Bez. Cottbus **10**, S. 3-20, Cottbus

Seifert, M. (1973): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung des Objektes Hornow-Jänschwalde 1972 – Bohrungen: 1232, 1248, 1226, 1227, 1219, 1216, 1225, 1196, 1183, 1200, 1233 und 1204. - Bericht ZGI Berlin vom 19.04.173, 30 S., Freiberg (unveröff.)

Seifert-Eulen, M. (2007): Vegetationsentwicklung (Pollenanalyse) des Klinger Interglazials. - Natur und Landschaft in der Niederlausitz **24**, S. 108-119, Cottbus

Strahl, J. (1997): Zusammenfassender Bericht zur pollenanalytischen Untersuchung von 20 Bohrungen aus dem Erkundungsprogramm Endlager Morsleben. - Bericht BGR vom 31.08.1997, 192 S., Hannover (unveröff.)

Strahl, J. (2000a): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung einer Probe aus der Bohrung Pinnower See 1/99 (Ig PioGu 1/99), Land Brandenburg. - Bericht LGRB vom 17.10.2000, 4 S., Kleinmachnow (unveröff.)

Strahl, J. (2000b): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung von zwei Proben aus der Bohrung Atterwasch 1/98 (Hy Atw 5/98), Land Brandenburg. - Bericht LGRB vom 17.10.2000, 4 S., Kleinmachnow (unveröff.)

Strahl, J. (2000c): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung von zwei Proben aus der Bohrung Klein Liebitz, Land Brandenburg. - Bericht LGRB vom 10.11.2000, 4 S., Kleinmachnow (unveröff.)

Strahl, J. (2001): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung von zwei Proben aus dem Tagebau Jänschwalde, 1. Brückenschnitt, Land Brandenburg. - Bericht LGRB vom 23.02.2001, 4 S., Kleinmachnow (unveröff.)

Strahl, J. (2002a): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung von neun Proben aus dem Tranitzer Fluviatil unterhalb der Diplomatentribüne, Tagebau Jänschwalde, Land Brandenburg. - Bericht LGRB vom 19.08.2002, 4 S., Kleinmachnow (unveröff.)

Strahl, J. (2002b): Ergebnisse der pollenanalytischen Untersuchung von 34 Proben aus den Bohrungen Bärenklau GWBR 01 - 05/2000, Land Brandenburg. - Bericht LGRB vom 20.09.2002, 14 S., Kleinmachnow (unveröff.)

Strahl, J. & H. U. Thieke (2004): Pollen- und schwermineralanalytische Befunde zur Kernbohrung KB Süd G 191/1 (Berlin-Lankwitz) - ein elsterspätglaziales bis saalefrühglaziales Profil des Berliner Elbelaufes. – Brandenburg. geowiss. Beitr. **11**, 1/2, S. 89-95, Kleinmachnow

Strahl, J. (2004a): Das Geotop Klinge – pollenanalytische Untersuchungen an den saalespätglazialen bis weichselfrühglazialen Ablagerungen der ehemaligen Dominalgrube von Klinge, Tagebau Jänschwalde. - Brandenburg. geowiss. Beiträge **11**, 1/2, S. 111-121, Kleinmachnow

Strahl, J. (2004b): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Kernbohrungen Ww 3/03 (KB Tschernitz SN-3/2003) und Ww 5/03 (KB Tschernitz SN-5/2003), Land Brandenburg. - Bericht LBGR vom 15.10.2004, 22 S., Kleinmachnow (unveröff.)

Strahl, J. (2005): Bericht zur pollenanalytischen Untersuchung von fünf Proben aus der Bohrung Brk Jäwa KT 11464/03, Vorschnitt Tagebau Jänschwalde (Land Brandenburg). - Bericht LBGR vom 14.11.2005, 3 S., Kleinmachnow (unveröff.)

Strahl, J. (2006): Information zur pollenanalytischen Untersuchung einer Schluffmuddeprobe aus der Böschung des 1. Brückenschnittes Hornoer Berg, Station 16,3, Tgb. Jänschwalde. - Bericht LBGR vom 28.11.2006, 2 S., Kleinmachnow (unveröff.)

Strahl, J. (2008): Bericht zur pollenanalytischen Untersuchung der Bohrung Drewitz Pegel 33/06, Land Brandenburg. - Bericht LBGR vom 22.01.2008, 3 S., Kleinmachnow (unveröff.)

Urban, B., Lenhard, R., Mania, D. & B. Albrecht (1991): Mittelpleistozän im Tagebau Schöningen, Ldkr. Helmstedt. - Z. dt. geol. Ges. **142**, S. 351-372, Hannover

Urban, B. (1992): Interglacial/glacial transitions recorded from middle and young pleistocene sections of Eastern Lower Saxony/Germany. - NATO ASI Series-, **13**, S. 37-50, Berlin,

Velichko, A. A., Novenko, E., Pisareva, V. V., Zelikson, E. M., Boettger, T. & F. W. Junge (2005): Vegetation and climate changes during the Eemian interglacial in Central and Eastern Europe: comparative analysis of pollen data. - Boreas, **34**, S. 207-219, Oslo

Anschrift der Autoren:

Dipl.-Ing.(FH) Ralf Kühner
Vattenfall Europe Mining AG
Vom-Stein-Straße 39
03050 Cottbus
ralf.kuehner@vattenfall.de

Dr. Jaqueline Strahl
Landesamt für Bergbau,
Geologie und Rohstoffe
Außenstelle Kleinmachnow
Stahnsdorfer Damm 77
14532 Kleinmachnow
jaqueline.strahl@lbgr-brandenburg.de

Dipl.-Geol. Peter Süßmilch
Vattenfall Europe Mining AG
Vom-Stein-Straße 39
03050 Cottbus
peter.suessmilch@vattenfall.de

Dr. Hans Ulrich Thieke
Sella-Hasse-Str. 3
12687 Berlin
hh.thieke@gmx.de

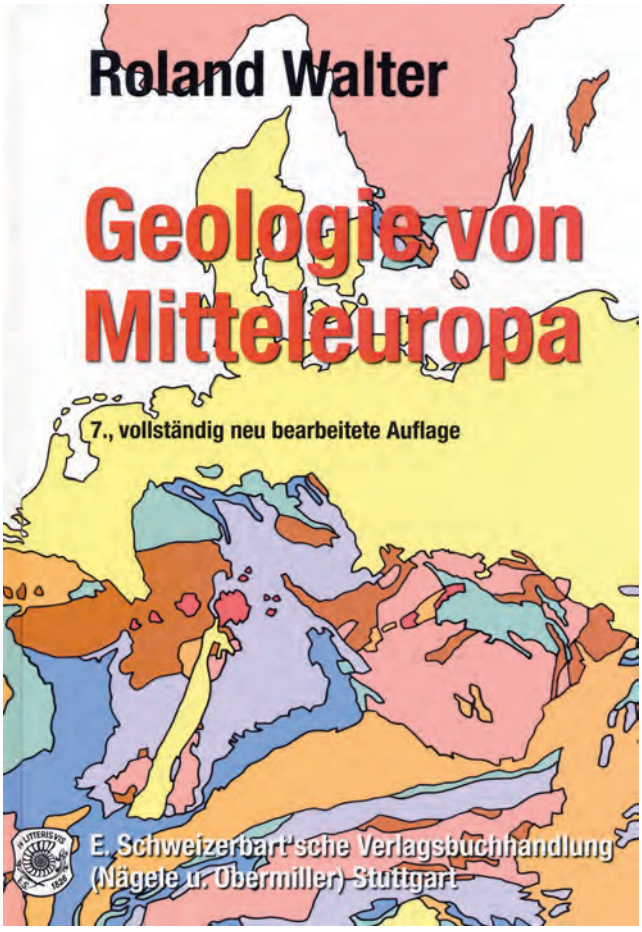
Dipl.-Geol. Stefan Meng
Institut für Geographie und Geologie
Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald
Friedrich-Ludwig-Jahn-Str. 17a
17489 Greifswald
stefan.meng@uni-greifswald.de

Mitteilung aus dem Landesamt No. 216

Buchbesprechung

WALTER, R. (2007): **Geologie von Mitteleuropa**
7. Auflage, 511 S., 184 Abb.
E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart
ISBN 978-3-510-65225-9
Preis: 59,00 €

Seit mittlerweise 57 Jahren existiert der von PAUL DORN erstmals 1951 herausgegebene Klassiker „Geologie von Mitteleuropa", der seit 1990 unter der Federführung von ROLAND WALTER weitergeführt wurde und seine nunmehr 7. Auflage erlebte. In diesem Zeitraum vollzog sich in der Geologie der dramatische Wechsel von rein fixistischen Anschauungen zu den heutigen Vorstellungen von einer dynamischen Erde, der auch in diesem Buch seinen Niederschlag fand.



Bemerkenswert ist der Umfang des Werkes, der mit 474 Seiten in der Erstauflage und 511 Seiten in der letzten Auflage praktisch gleich geblieben ist. Berücksichtigt man den enormen Wissenszuwachs der letzten Jahrzehnte, konnte dies nur gelingen, wenn der Autor Bestandteile der ersten Auflagen nicht mehr berücksichtigt. Dies betrifft die Kapitel über die Alpen, die Karpaten und auch die noch in der 6. Auflage enthaltene spezielle Lagerstättenübersicht. Hinzu kam der durch die politische Wende Anfang der 90er Jahre mögliche ungehinderte Datenfluss aus den östlichen Ländern, der in dieser Auflage erstmalig eingearbeitet werden konnte.

Herausgekommen ist eine völlig neu bearbeitete „Geologie von Mitteleuropa", die jedoch nach traditionellem Muster gegliedert ist. Im ersten Kapitel erfolgt eine Übersicht über Mitteleuropa als Ganzes. In den weiteren Kapiteln folgen die Darstellungen des Präquartärs der Mitteleuropäischen Senke, des Quartärs der Mitteleuropäischen Senke, des proterozoisch-paläozoischen Grundgebirges und des jungpaläozoisch-mesozoischen bis känozoischen Deckgebirges des Mitteleuropäischen Schollengebietes. Jedes Kapitel ist in zahlreiche Unterkapitel gegliedert, in denen die Einzelgebiete beschrieben werden. Ergänzt werden die Beschreibungen durch zahlreiche Karten und stratigraphische Tabellen. Am Ende eines jedes Kapitels wird weiterführende Literatur, allerdings erst ab dem Erscheinungsjahr 1990, zitiert.

Leider sind die im Text beschriebenen stratigraphischen Abfolgen nicht immer auf dem aktuellen Stand, so finden z. B. im Quartär der Mitteleuropäischen Senke stratigraphische Begriffe Verwendung, die seit ca. 15 Jahren obsolet sind.

Dies schmälert jedoch nicht den Verdienst des Autors, sich überhaupt der Aufgabe gestellt zu haben, eine schier unüberschaubare Flut von Fakten und Daten so aufbereitet zu haben, dass sie einem breiten Interessentenkreis schnell und in kompakter Form zur Verfügung stehen.
Das Buch kann uneingeschränkt zum Studium der regionalen Geologie Mitteleuropas empfohlen werden.

Norbert Hermsdorf

Brandenburg. geowiss. Beitr.	Kleinmachnow, Cottbus	**15** (2008), 1/2	S. 23-55	7 Abb., 4 Tab., 237 Lit., 1 CD

Karte der Eem-Vorkommen des Landes Brandenburg

Eemian deposits in the Brandenburg area

Norbert Hermsdorf & Jaqueline Strahl

Teil 1:
Erläuterungen zur Karte

Teil 2:
Pollenstratigraphie des Saalespätglazials, Eem-Interglazials und Weichselfrühglazials in Berlin-Brandenburg

1. Einleitung

Die hiermit vorgelegte Karte der Eem-Vorkommen (Abb. 1, CD*) dokumentiert den aktuellen Kenntnisstand über die Verbreitung Eem-interglazialer Ablagerungen im Land Brandenburg einschließlich des Stadtgebietes von Berlin. Sie ist das Ergebnis intensiver Recherchen in Datenbankbeständen, Archivmaterialien und Veröffentlichungen, durch die bisher 566 Eem-Fundpunkte ermittelt wurden. Pollenanalytisch datiert und damit als gesichert anzusehen sind 202 Fundpunkte, wovon allerdings 14 aufgrund fehlender Koordinaten nicht mehr punktgenau zu lokalisieren sind. Sie konnten daher nicht in die digital, mittels arc-Info erstellte und damit permanent aktualisierbare Karte aufgenommen werden. Aus demselben Grunde sind auch größtenteils die durch H. Niederstrasser für die Niederlausitz (hier insbesondere Messtischblätter Altdöbern und Drebkau) in zahlreichen Berichten zusammengestellten, bezüglich absenter pollenanalytischer Stratifizierung aber nur zu vermutenden Eem-Fundpunkte nicht mehr nachvollziehbar. Unberücksichtigt blieben auch eemzeitliche Bodenbildungen, wie sie u. a. aus dem Bereich des Flämings beschrieben wurden (Maudrei & Schmidt 1966) und die vor allem im mittelbrandenburgischen Raum auftretenden Verwitterungserscheinungen auf saalezeitlichen Geschiebemergeln, die vermutlich eemzeitlich sind.

Für einen großen Teil der in der Karte dargestellten Fundpunkte fehlt bis jetzt eine palynologische Bearbeitung, so dass die Zuordnung zum Eem nach lithologischen und geologischen Kriterien erfolgte.
Abgesehen von diesen, in der Karte blau markierten Aufschlüssen (insgesamt 344) erfolgte die Darstellung der einzelnen, pollenanalytisch gesicherten Eem-Fundpunkte gegliedert nach ihrer stratigraphischen Reichweite. Vollständige bzw. quasi vollständige Eem-Sequenzen (insgesamt 23) sind sowohl unter der rotmarkierten Rubrik (4), vor allem aber unter den Vorkommen mit saalespätglazialen (19), weichselfrühglazialen (45) oder mit beiden Anteilen (24) in der Karte enthalten.

Bereits Ende des 19. und zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurden in Brandenburg im Zuge der geologisch-agronomischen Kartierung der Preussischen Geologischen Landesanstalt mehrere Vorkommen organogener, meist fossilführender Ablagerungen beschrieben, die aufgrund der Überlagerung durch glaziäre Sedimente als „inglazial“ erkannt wurden. Eine erste Auflistung von Fundpunkten humoser und kalkiger interglazialer Bildungen legte Hucke (1922) in seiner „Geologie von Brandenburg“ vor. Die erste ausführliche Zusammenstellung und Kenntnisstandbewertung brandenburgischer Eem-Vorkommen publizierte Erd (1960b). Die zeitliche Einstufung erfolgte seinerzeit ausschließlich nach geologischen Gesichtspunkten, z. T. begleitet von malakologischen und makrorestanalytischen Untersuchungen, Pollenanalysen fehlten weitestgehend. Mittlerweile sind fünf dieser Vorkommen teilweise intensiv palynologisch bearbeitet und ihr eemzeitliches Alter damit verifiziert. Als vollständigste und wichtigste Aufschlüsse sind hier die Vorkommen von Klinge (Strahl 2004, Velichko et al. 2005, Seifert-Eulen 2007) und Vevais am Eisenbahnanschnitt (Seifert 1970, Brose et al. 2006) hervorzuheben.
Eine Reihe der von Erd (1960b) aufgeführten Vorkommen fand aus verschiedenen Gründen keinen Eingang in die Karte. So kann z. B. für das Vorkommen von Frankfurt/Rosengarten (Gagel 1913) ein eemzeitliches Alter nach heutigem Kenntnisstand ausgeschlossen werden (Schulz et. al. 2007). Das Vorkommen der komplett abgebauten Mendeschen Ziegeleigrube (Roedel 1897) wird dagegen durch das einzige, heute noch auf dem Blatt Frankfurt (Oder)/Słubice (Schulz et al. 2007) nachzuweisende Vorkommen Nr. 4 (Keilhack & v. Linstow 1931) ersetzt, das östlich der Nuhnenstraße in Frankfurt (Oder) wieder erbohrt und pollenanalytisch bestätigt wurde (Strahl 2000h). Ebenfalls nicht mehr lokali-

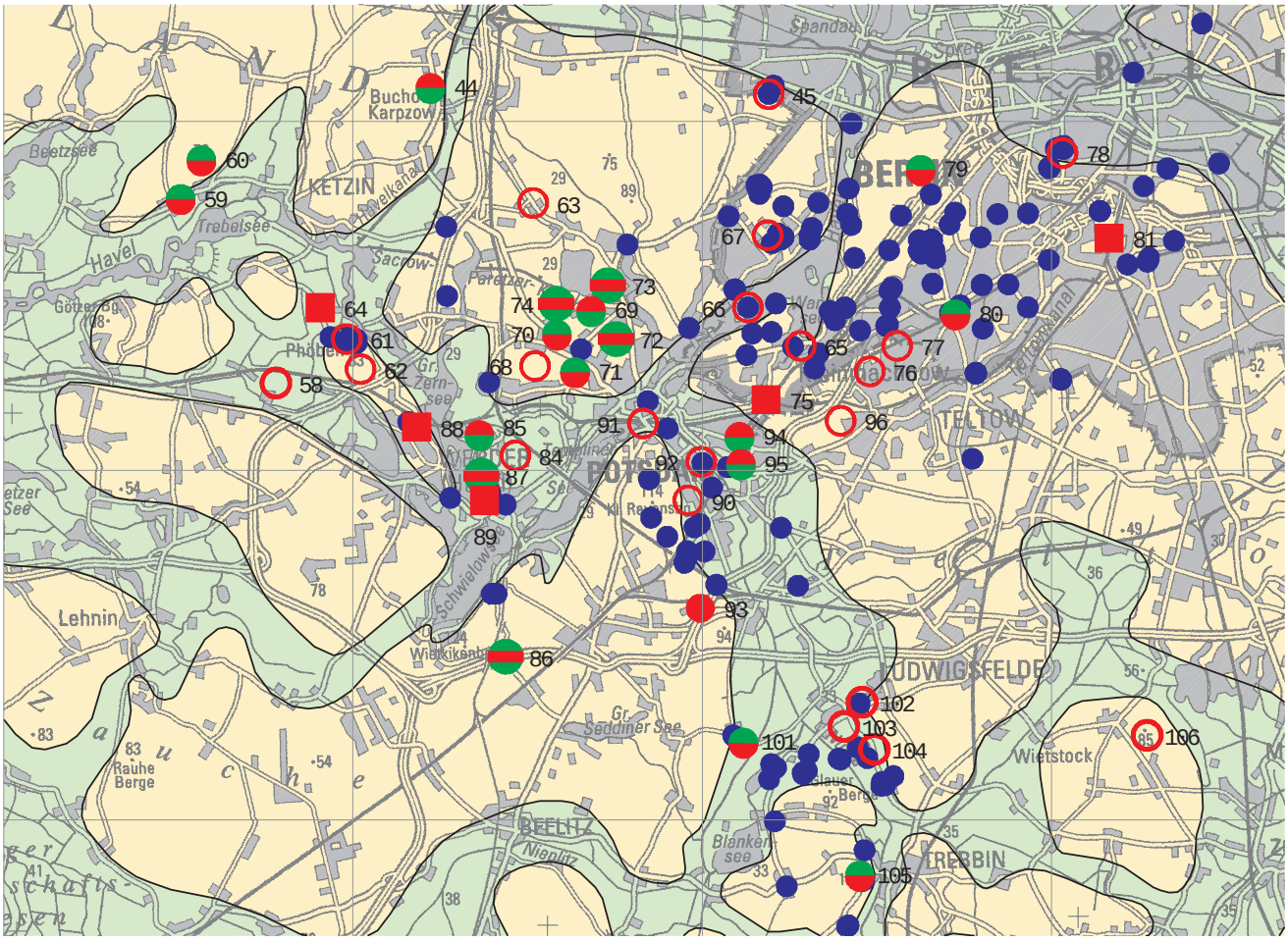


Abb. 1 Karte der Eem-Vorkommen des Landes Brandenburg 1 : 300 000 (Ausschnitt)

Fig. 1 Map of Eemian deposits in Brandenburg, scale 1 : 300 000 (map section)

sierbar ist das Vorkommen von Hohenferchesar am Pritzerber See (GAGEL 1913). Alle anderen, von ERD (1960b) beschriebenen Vorkommen sind in der Karte als klassische Eem-Fundpunkte aufgeführt. Ebenfalls als klassisches Eem ist die Bohrung Oranienburg (KEILHACK 1915) aufgeführt, die drei Geschiebemergelhorizonte, getrennt jeweils durch warmzeitliche Ablagerungen, durchteufte und damit für KEILHACK den Beweis für eine dreimalige Vereisung lieferte.

Insgesamt vermittelt die Karte einen Überblick über die Verbreitung und regionale Verteilung der bis jetzt bekannten Eem-Vorkommen, deren praktische Bedeutung oft unterschätzt wird.
Eemzeitliche Ablagerungen sind bedeutende Klimaarchive. Das aus ihnen rekonstruierbare Paläoklima ist Voraussetzung für das Verständnis heutiger und zukünftiger Klimaentwicklungen.
Sequenzen mit gesicherten Eem- und anderen Interglazialhorizonten sind wichtige Richtprofile, die die notwendige regionale Eichung von Routinemethoden in der Landesaufnahme (z. B. Kleingeschiebeanalyse) ermöglichen.
Gebiete mit gehäuftem Auftreten eemzeitlicher Ablagerungen (z. B. Potsdamer Raum, Stadtgebiet Cottbus, Abb. 1,) sind zugleich Bereiche mit einem erhöhten Baugrundrisiko. Immer wieder haben in der Vergangenheit Nichterkennen oder Nichtbeachtung eemzeitlicher Ablagerungen Bauwerksschäden verursacht (siehe u. a. NOWEL et al. 1997). Und nicht zuletzt können eemzeitliche Ablagerungen bei entsprechender Ausbildung wieder rohstoffrelevant werden, hier sei das Stichwort Kieselgur genannt.

2. Die Verbreitung des Eem-Interglazials in Brandenburg

Insgesamt besitzen die Ablagerungen des Eem-Interglazials eine relativ weite Verbreitung. Allerdings zeigt diese nach jetzigem Kenntnisstand - im Gegensatz zu den Ablagerungen des Holstein-Interglazials - zumeist keine Bindung an große, glaziär geschaffene Rinnensysteme, sondern beschränkt sich oft auf isolierte, kleinräumige Becken. Bei der Bildung der eemzeitlichen Sedimentationsräume spielte vor allem das im Saalespätglazial austauende Toteis eine große Rolle.
Die bis jetzt bekannten Eem-Vorkommen Brandenburgs sind ausschließlich in limnischer Fazies entwickelt. Es dominieren Kalk-, Schluff- und Detritusmudden, aber auch Verlandungstorfe oder Seesande mit Torflagen treten häu-

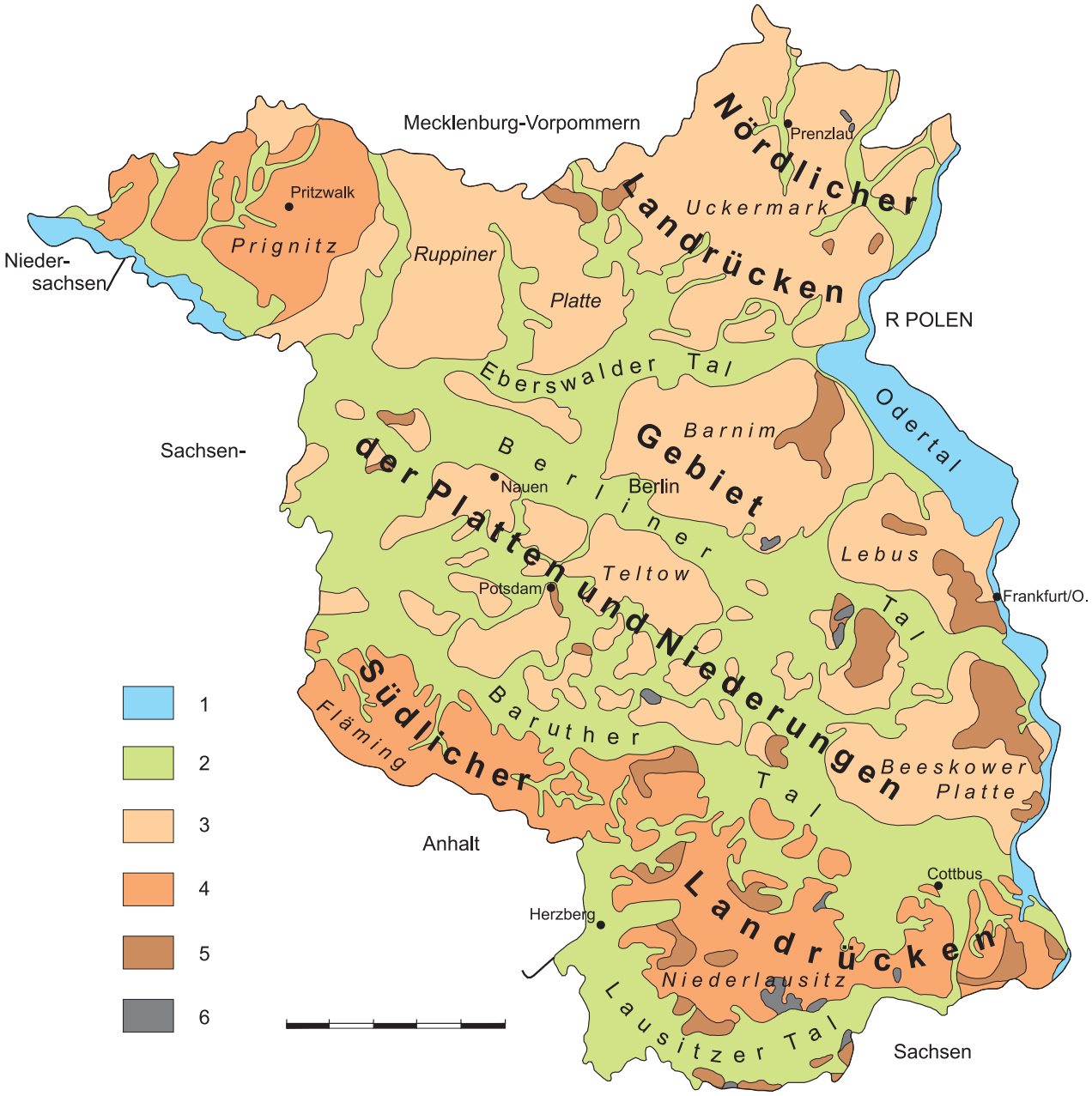


Abb. 2
Geologisch-morphologische Übersichtskarte von Brandenburg und Berlin (nach A. Sonntag 1995, in Benda 1995, S. 117)
1 – holozäne Flussauen, 2 – Urstromtäler einschließlich ihrer Nebentäler, Niederterrassen der Flussgebiete, periglaziäre Becken der Altmoränengebiete, 3-4 – Grundmoränen, Schmelzwasserbildungen, Endmoränen: 3 – Hochflächen Jungmoränengebiet, 4 – Hochflächen Altmoränengebiet, 5 – Präformierte Stauchungsgebiete, 6 – Präquartär

Fig. 2
Geologic-morphological survey map of Brandenburg and Berlin (after A. Sonntag 1995, in Benda 1995, p. 117)
1 – holocene river valleys, 2 – glacial valleys including their tributary valleys, periglacial basins of pre-Weichselian glaciations, 3-4 – ground moraine, melt water sediments, end moraine: 3 – flat upland areas of Weichselian glaciation, 4 – flat upland areas of pre-Weichselian glaciation, 5 – pre-deformed push moraines, 6 – pre-quaternary

figer als der Holstein-Interglazial auf. Das Liegende bilden oft saalezeitliche Beckenschluffe und -feinsande, z. T. auch saalezeitliche Grundmoränen oder fließerdeartige diamiktische Bildungen. Nur untergeordnet wurden im Liegenden saalezeitliche Schmelzwassersande angetroffen. Der Nachweis eines mit Sicherheit vorhanden gewesenen eemzeitlichen Flussnetzes ist bis jetzt nicht gelungen.

Da im ausgehenden Saale-Glazial das gesamte Territorium Brandenburgs ein Jungmoränengebiet war, existierten in Abhängigkeit von der damals vorhandenen morphologischen Situation potentiell überall Akkumulationsräume für eemzeitliche Sedimente. Das aus der Karte ablesbare Verteilungsmuster hat verschiedene Ursachen und spiegelt nur ansatzweise das tatsächliche eemzeitliche Landschaftsbild mit

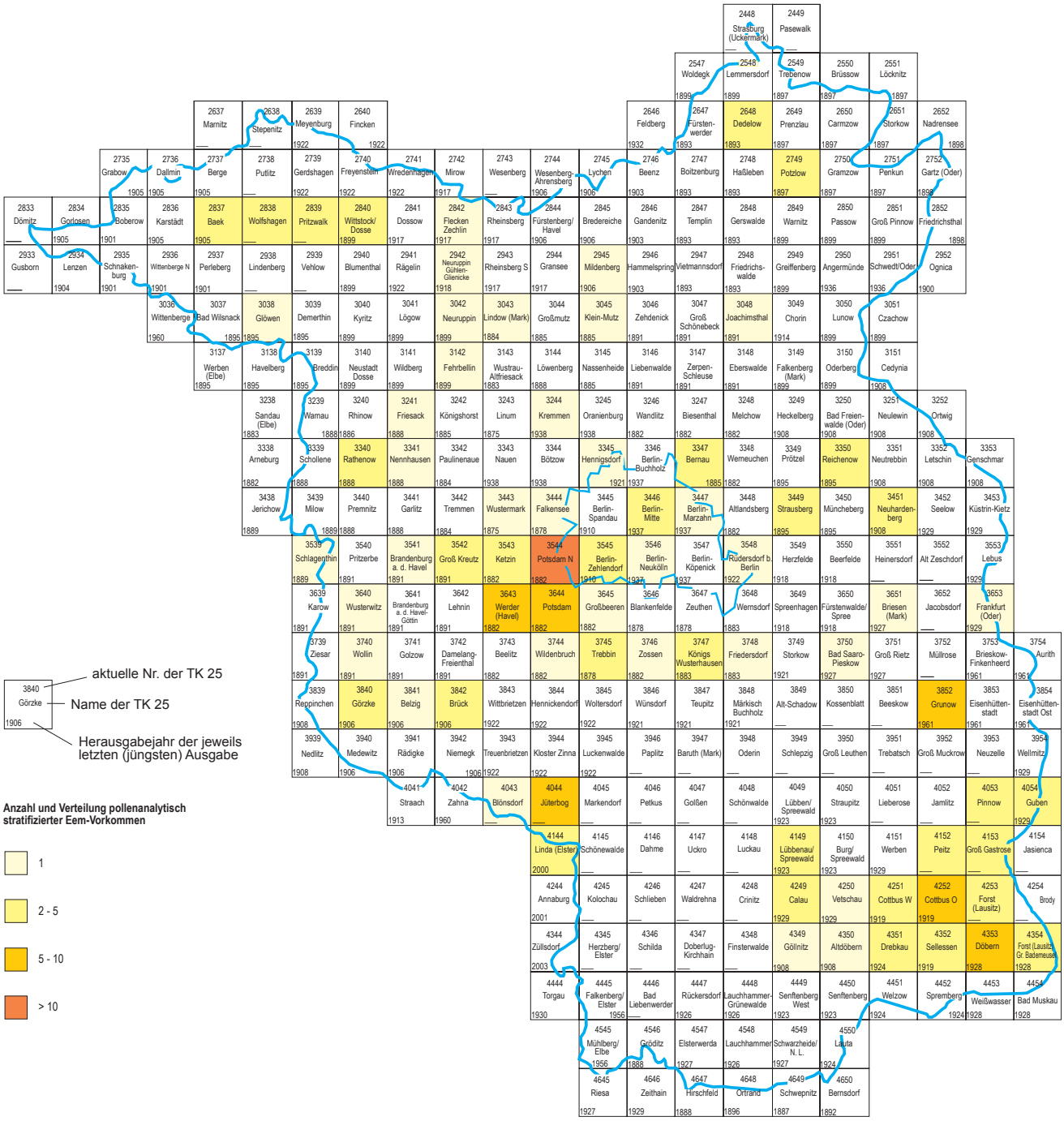


Abb. 3
Anzahlmäßige und räumliche Verteilung der durch Pollenanalysen stratifizierten Bohrungen und Aufschlüsse mit Eem-Interglazial auf den TK 25 für die Länder Brandenburg und Berlin

Fig. 3
Number and spatial distribution of bore holes and outcrops with Eemian interglacial at topographic maps of the Berlin-Brandenburg area, scale 1 : 25 000 investigated by pollen analysis

seiner Verteilung von Hochflächen und Niederungen wider. Wesentlich für die heutige Verbreitung eemzeitlicher Sedimente waren die vielfältigen weichselzeitlichen Exarations- und Erosionsprozesse. Nicht zuletzt ist unser Kenntnisstand über die Eem-Verbreitung jedoch ganz entscheidend vom jeweiligen regionalen Erkundungsstand abhängig.

So existieren für den Bereich des heute zum Altmoränengebiet zählenden Südlichen Landrückens (Abb. 2), bestehend aus Niederlausitz und Fläming, zahlreiche Eem-Nachweise. Grund dafür, insbesondere in der Niederlausitz, ist in erster Linie die intensive Bohrtätigkeit im Zuge der Braunkohlenerkundung, die die Niederlausitz zum besterkundeten

Gebiet Brandenburgs macht. Neben isolierten Nachweisen aus Toteishohlformen sind hier auch an glaziäre Rinnen gebundene Vorkommen, wie u. a. das von Klinge zu nennen.
Auf dem Fläming wurden Ende der 80er Jahre im Rahmen der Kieselgursuche eine Reihe geschlossener Hohlformen abgebohrt, die oft eemzeitliche Sedimente enthielten. Da die Anzahl derartiger Hohlformen mit Sollcharakter auf dem Fläming mit über 1000 angegeben wird, sind hier noch zahlreiche bis jetzt unbekannte Nachweise zu erwarten. Eine analoge Situation besteht für das Altmoränengebiet der Prignitz im Nordwesten Brandenburgs.

Ein echtes Verteilungsmuster ist dagegen aufgrund der Konzentration mehr oder weniger vollständig ausgebildeter Eem-Vorkommen inklusive weichselfrühglazialer Stadial-Interstadial-Abfolgen im Bereich des Südlichen Landrückens gegenüber dem vom Weichseleis beeinflussten Jungmoränengebiet erkennbar.

Ein weiteres gehäuftes Auftreten eemzeitlicher Sedimente ist für das Gebiet zwischen Baruther Urstromtal im Süden und Berliner Urstromtal im Norden (Abb. 2) zu verzeichnen. Vor allem der Großraum Potsdam (Abb. 1 u. 3) lieferte eine Fülle von Nachweisen. Hier liegt auch das bis jetzt größte bekannte Eembecken Brandenburgs, welches immerhin eine Längserstreckung von über 3 km besitzt. Eine ähnliche Dimension ist auch für das Eembecken von Bamme unweit Nennhausen anzusetzen. Auffallenderweise lässt die Verteilung der bekannten Eem-Vorkommen in Mittelbrandenburg keinen Zusammenhang mit dem heutigen Relief erkennen. Eemzeitliche Sedimente sind sowohl in den Niederungsgebieten als auch in den Hochflächen unter weichselzeitlicher Bedeckung nachgewiesen, ein gewichtiges Argument gegen die Auffassung, dass sich das prä-weichselzeitliche Relief weitflächig bis in die Gegenwart durchpausen würde.
Bemerkenswert ist auch das Vorkommen parautochthoner und allochthoner Eemsedimente in einer ganzen Reihe von Stauchmoränen, insbesondere im Raum zwischen Potsdam und Brandenburg/Rathenow. Dies weist darauf hin, dass die Annahme, dass die weichselzeitlichen Gletscher „kraftlos“ und nur wenig morphologisch wirksam waren, für den west- und mittelbrandenburgischen Raum nicht zutrifft.
Im nördlichen Brandenburg, insbesondere im Gebiet der Ruppiner Platte (Abb. 2) gibt es nur wenige Eem-Nachweise, was in diesem Falle sehr wahrscheinlich mit dem relativ geringen Erkundungsstand dieses Gebiets (Abb. 3) in Zusammenhang steht.
Ebenfalls nur wenige Nachweise liegen für das Rückland der Pommerschen Randlage vor. Neben den Vorkommen von Röpersdorf und Potzlow (Hermsdorf & Strahl 2006), welche früher zudem eine andere stratigraphische Zuordnung (Erd 1987) erfuhren, ist bis jetzt nur noch das jüngst entdeckte Vorkommen von Wilhelmshof bei Schönermark bekannt. Die Ursache für die geringe Nachweisdichte im Gebiet des Pommerschen Stadiums wird in der intensiven Exarations- und Erosionstätigkeit der weichselzeitlichen Gletscher und ihrer Schmelzwässer gesehen.
Diese Aktivitäten des Weichseleises sind dafür verantwortlich, dass im gesamten Jungmoränengebiet häufig nur gekappte Eemprofile erhalten sind. Demgegenüber sind mehr oder weniger vollständige Profile, wie z. B. von Strausberg, Rathenow oder Potsdam-Nedlitz, vergleichsweise selten.

3. Aktueller Stand der pollenstratigraphischen Gliederung des Saalespätglazials, Eem-Interglazials und Weichselfrühglazials in Berlin und Brandenburg

Die bisher einzige, vor allem das Mittel- bis Jungpleistozän (Cromer-Komplex bis Beginn Mittleres Weichsel) umfassende pollenstratigraphische Ist-Analyse für die neuen Bundesländer einschließlich Berlins geht auf Erd (1973) zurück. Eine ausführliche Besprechung für den hier interessierenden Zeitabschnitt erfolgte dabei für das Eem-Interglazial und die Interstadiale des Weichselfrühglazials, die zu diesem Zeitpunkt noch wenig untersuchten Ablagerungen des Saalespätglazials fanden nur randlich Erwähnung.
Bei Übertragung der Karte der Eem-Fundpunkte auf das Messtischblattnetz der Länder Berlin und Brandenburg (Abb. 3) zeigt sich, abgesehen von einer Konzentration stratifizierter Bohrungen in der Prignitz, dem Berliner und Potsdamer Raum sowie in der Niederlausitz, eine flächenmäßig sehr geringe Untersuchungsdichte für das gesamte Landesgebiet. So sind von den insgesamt 303 Blättern nur 72 durch pollenstratigraphische Untersuchungen qualifiziert, das entspricht gerade rund 24% der Landesfläche.
Zudem ist die Qualität der Untersuchungen sehr unterschiedlich. So basiert das Gros der insgesamt 202 pollenanalytischen Untersuchungen auf der Auswertung von Einzelproben (83) und in der Regel in sehr großen Abständen entnommenen und damit vegetations- und klimageschichtlich wenig aussagekräftigen Probenserien (61). Zu den wichtigsten Aufschlüssen, da durch ihre hohe Untersuchungsdichte auch für regionale und überregionale klimastratigraphische und vegetationsgeschichtliche Vergleiche gut geeignet, zählen neben Klinge und Vevais die Vorkommen von Kittlitz (Richtprofil für das Eem-Interglazial in der ehemaligen DDR, Erd 1973), Schönfeld (Erd 1991), Rathenow (Freund 2000), Tschernitz (Strahl 2004c), Strausberg (Strahl 2007e), Borgisdorf (Strahl 2008d) und Eichow (Erd 1960a, Strahl 2007) (alle Tab. 1).
In Vorbereitung der Kartenerstellung und für die damit verbundene aktuelle Zusammenschau der stratigraphischen Befunde zum Zeitraum Saalespätglazial bis Weichselfrühglazial für die Länder Berlin und Brandenburg wurden zu einer Reihe von bedeutenden Vorkommen, die durch den damaligen Autor selbst aus hier nicht mehr nachzuvollziehenden Gründen weder in Berichts- noch Publikationsform gefasst wurden, zitierfähige Abbruchberichte erstellt. Dazu gehören u. a. die Vorkommen von Ladeburg (Erd & Strahl 2007), Bathow, Willmersdorf und Gräbendorf-Reddern (Erd & Strahl 2008, a, b, Tab. 1). In einigen Fällen waren keinerlei Unterlagen mehr vorhanden, so dass sich eine Neubearbeitung erforderlich machte. Dies betrifft u. a. die Vorkommen

Tab. 1
Übersicht der zu pollenstratigraphischen Vergleichszwecken herangezogen Bohrungen und Aufschlüsse Brandenburgs und Berlins

Tab. 1
Overview to bore holes and outcrops in the Berlin-Brandenburg area used for pollenstratigraphical comparison

lfd. Nr. Karte	Name der Bohrung/ des Aufschlusses	Autor	Lage
Nördliches Brandenburg (Altmoränengebiet Prignitz, Jungmoränengebiet Pommersches Stadium)			
2	KB **Schönermark** 1/02	STRAHL 2006d	Uckermark, Jungmoränengebiet Pommersches Stadium
4	KB **Potzlow** 2000	STRAHL 2006e	
6	Hy **Potzlow** 1/73 (Hy Pzl 1/74)	ERD 1978	
7	KB **Röpersdorf** 2/00	HERMSDORF & STRAHL 2006	
10	**Jakobsdorf** 15/77	ERD & FISCHER 1983	Prignitz, Altmoränengebiet
16	**Pritzwalk** 1/99	STRAHL 2000d	
22	C 61-10 Trasse Magnetschnellbahn (**Glöwen**)	STRAHL, unveröff.	
Westliches und Mittleres Brandenburg (Jungmoränengebiet Brandenburger Stadium)			
33	**Rathenow** 1	FREUND 2000	Untere Havelniederung, Jungmoränengebiet Brandenburger Stadium
48	TB **Pankow** 1/61 (BPaw 1/61)	SEIFERT 1969	Barnim, Jungmoränengebiet Brandenburger Stadium
67	Sandgrube **Kladow**, Westteil	BÖSE & BRANDE 1979	Brandenburg-Potsdamer-Havelgebiet, Jungmoränengebiet Brandenburger Stadium
74	Hy **Nedlitz** 1/92 (PNz 101/92, Hy P8/96)	STRAHL 2001	
104	Hy Cf **Luckenwalde** 55/71 (Hy Lw 55/71)	SEIFERT 1972	Nuthe-Notte-Niederung, Jungmoränengebiet Brandenburger Stadium
Östliches Brandenburg (Jungmoränengebiet Brandenburger Stadium, Baruther Urstromtal)			
40	**Ladeburg** 1E/61 (KB LadBn 1E/61)	ERD & STRAHL 2007	Barnim, Jungmoränengebiet Brandenburger Stadium
43	**Vevais**, Eisenbahnanschnitt	BROSE et al. 2006	
54	KB **Strausberg** 2007 (Kb Su 1/2007)	STRAHL 2007e	
136	KB **Oderin** 2/62 (Kb Odn 2/62)	ERD 1967a	Unterspreewald, Jungmoränengebiet Brandenburger Stadium
152	Kerkwitz-**Atterwasch** A 159/57 (T Atw A 159/57)	ERD 1960	Gubener Land, Jungmoränengebiet Brandenburger Stadium
164	**THW 1168 5/06**	KÜHNER et al. 2008	Hornoer Hochfläche, Jungmoränengebiet Brandenburger Stadium
175	**Cottbus Nord** 1706/71 (Brk CN 1706/71)	KÖHLER in STRAHL 2008b	Baruther Urstromtal
Südliches Brandenburg (Altmoränengebiet Fläming, Niederlausitz)			
143	**Oehna** 37/87 (KB Oea 37/87)	ERD 1987a, STRAHL 2008c	Niederer Fläming, Altmoränengebiet
148	KB **Borgisdorf** 1/06 (Kb Bgo 1/2006)	STRAHL 2008d	
155	Kt 8250/89 **Willmersdorf** (Brk Sla 8250/89)	ERD & STRAHL 2008	Niederlausitz, Altmoränengebiet
156	Brk Sla 8244/89 (**Egsdorf**)	STRAHL 2008e	
159	**Schönfeld** 1980	ERD 1991	
160	**Kittlitz** 3/59 (Kb Kti Ca 3/59)	ERD 1973	
166	SLA-M Kt 7847 ZA/89, **Bathow** (Brk Sla 7847ZA/88)	ERD & STRAHL 2008a	
167	**Eichow** 4/59	ERD 1960a, STRAHL 2007	
180	Geotop **Klinge**	STRAHL 2004, SEIFERT-EULEN 2007	
181	Eisenbahneinschnitt **Lug** 1966	ERD 1979a	
182	Kt 8778Z/88 **Gräbendorf-Reddern** (Brk Gäd 8778z/88)	ERD & STRAHL 2008b	
184	**Wolkenberg**	KÜHNER & STRAHL 2008	
185	**Rehnsdorf**		
195	Kieselgur **Jocksdorf** 29/86 (KigJof 29/86)	SEIFERT 1986	
196	Kieselgur **Jocksdorf** 23/85 (KigJof 23/85)		
201	KB Ww 5/2003 (KB Ww 1/2003, **Tschernitz**)	STRAHL 2004c	

von Rehnsdorf und Wolkenberg (KÜHNER & STRAHL 2008) sowie von Egsdorf (STRAHL 2008e). Für die zahlreichen Bohrungen aus dem Kieselgurerkundungsprogramm des Zentralen Geologischen Instituts der DDR Ende der 1980er Jahre für die Felder Nedlitz, Rottstock und Trebendorf lagen lediglich Kurzeinschätzungen der Vorkommen ohne belastbare Analysedaten vor (ERD 1988b, 1989, 1989a), so dass diese Vorkommen einer derzeit noch andauernden Revisionsbearbeitung unterliegen. Gänzlich verschollen sind die bei CEPEK et al. (1994) zitierten Unterlagen zum großen Eem-Becken von Kahsel, für das somit ebenfalls eine, z. Z. noch laufende Neubearbeitung erforderlich ist.

Weiterhin ist das Vorkommen von Eichow (Erd 1960a) einer Detailbearbeitung unterzogen worden (Strahl 2007). Grund war einerseits die nur geringe ausgewertete Probenanzahl und andererseits die Nichtberücksichtigung einiger, für die Gliederung des Saalespätglazials und des Eem-Interglazials maßgeblicher Gehölzpollentypen in der Erstuntersuchung.
Die letztendlich für einen Berlin-Brandenburg-weiten vegetationsgeschichtlichen Vergleich genutzten Profile sind in Tabelle 1 nebst einem Vermerk zur Position in der Karte der Eem-Vorkommen (laufende Nummer), des Autors der pollenstratigraphischen Bearbeitung zzgl. einer kurzen Lageangabe innerhalb Brandenburgs bzw. Berlins zusammengestellt. Fett hervorgehoben ist außerdem der im Text verwendete Profilkurzname.

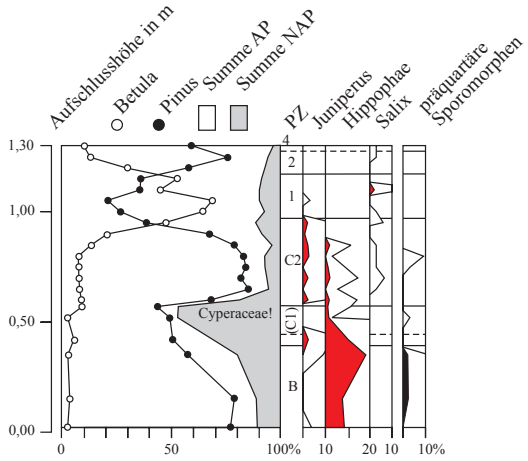
3.1 Saalepleni- und Saalespätglazial

Die bis dato, meist aufgrund fehlender oder unterlassener Beprobung, wenig berücksichtigten Ablagerungen des Saalepleni- und Saalespätglazials sind in der aktuellen Karte der Eem-Vorkommen (Abb. 1) mit 43 Fundpunkten enthalten. 32 dieser Vorkommen lieferten aufgrund der hohen Anteile an präquartären Sporomorphen ein mehr oder weniger indifferentes Vegetationsbild bzw. umfassten nur den unmittelbaren Übergangsbereich zwischen dem Saalespätglazial und Eem-Interglazial mit der Pollenzone (PZ) C (s. ff.).
Für eine Detailanalyse der vegetationsgeschichtlichen Entwicklung wurden wegen ihrer ausreichend hohen Untersuchungsdichte die in Abb. 4 von Nord nach Süd zusammengestellten Profile Hinterste Mühle bei Neubrandenburg (Mecklenburg-Vorpommern, Strahl 2000), Strausberg (Strahl 2007e), Schönfeld (Seifert 1996), Klinge (Seifert-Eulen 2007), Gräbendorf-Reddern (Erd & Strahl 2008b) und Rehnsdorf (Kühner & Strahl 2008) sowie die Bohrung THW (Trocken-Hohlwendel) 11685/06 (siehe Kühner et al. 2008, dieser Band) ausgewählt.
Alle Profile zeigen übereinstimmend, ausgenommen das von Rehnsdorf und der Bohrung THW 11685/06 (in beiden das Saalepleniglazial nicht erfasst) sowie Hinterste Mühle (Saalepleniglazial in Nachbarprofil anstehend), eine vierphasige Vegetationsentwicklung im ausgehenden Saaleglazial. Als Gliederungsgrundlage hätten sich hier die bisher genutzten Zonierungen von Erd (unveröff.) oder Seifert (1996) mit den PZ SS I - SS IV oder S I - S IV angeboten. Die Verwendung des Kürzels SS ist aus naheliegenden Gründen abzulehnen. Ebenso unglücklich ist die Wahl des Kürzels S in Verbindung mit einer römischen Ziffer, da hier die Möglichkeit der Verwechslung mit dem in gleicher Form verwendeten Kürzel für die Geschiebemergel der Saalevereisung (SI - SIII) durch Cepek (zuletzt in Cepek et al. 1994) und Nowel (zuletzt 2007) besteht. Deshalb wurde auf die von Menke & Ross (1967) eingeführte Gliederung in die PZ A-C zurückgegriffen. Allerdings fehlt der PZ C als Endphase des Saalespätglazials in Nordwestdeutschland die inzwischen in einer Vielzahl von Bohrungen und Aufschlüssen in Brandenburg und auch Polen (u. a. Bińka & Nitychoruk 2003) mit Sicherheit belegte saalespätglaziale Kiefernausbreitung (s. ff.). Die PZ C wird daher in die Subzonen C1 (Birken-Wacholder-Ausbreitung, entspräche PZ SS III nach Erd oder S III nach Seifert 1996) im Sinne von Menke & Ross (1967) und C2 (spätglaziale Kiefernexpansion, entspräche PZ SS IV nach Erd oder S IV nach Seifert 1996) unterteilt.

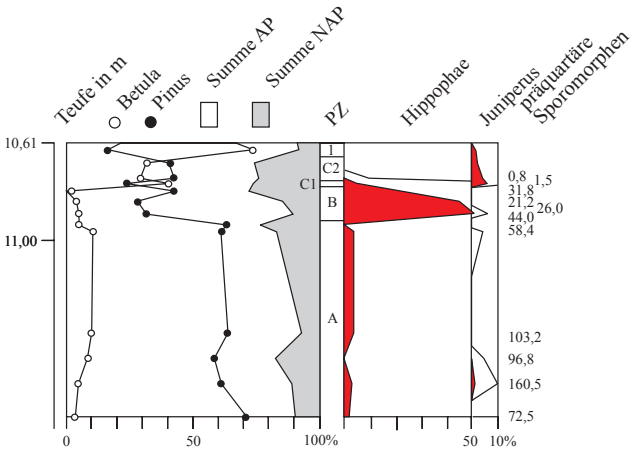
PZ A, Waldlose Zeit
In das als noch waldfrei aufgefasste ausgehende Saalepleniglazial fallen in der Regel jene Profilabschnitte, in denen die Anteile präquartärer Sporomorphen (häufig Taxodiaceae/Cupressaceae, diverse Tricolporates, *Sciadopytis* und Dinozysten sowie meist seltener u. a. *Symplocus*, *Liquidambar*, *Pterocarya*, *Myrica*, *Nyssa*, *Classopollis* und diverse Triletes) gegenüber dem vermutlich autochthonen Anteil (vorrangig heliophile Kräuter = Nichtbaumpollen oder nonarboreal pollen = NBP oder NAP) erheblich überwiegen und somit eine detaillierte vegetationsgeschichtliche Interpretation ausschließen.
Neben der unter den Gehölzpollen (BP oder arboreal pollen = AP) zumeist prozentual vorherrschenden Kiefer (*Pinus*, z. T. verschiedene Typen) tritt außerdem häufiger in größerer Anzahl Pollen thermophiler Gehölze, wie der Erle (*Alnus*), Hasel (*Corylus*), Hainbuche (*Carpinus*), Eiche (*Quercus*) sowie auch der Fichte (*Picea*) und seltener der Tanne (*Abies*) in den Vordergrund, die möglicherweise nicht nur aus dem Präquartär, sondern auch aus älteren Interglazialen (hier Holstein?) stammen können. Die Verbreitung von Birke (*Betula*), Wacholder (*Juniperus*) und je nach Feuchteangebot auch der Weide (*Salix*) als in Frage kommende autochthone Strauchschichtbildner ist nicht mit Sicherheit zu belegen, da bisher Makrorestnachweise aus keinem der verglichenen Profile (Abb. 4, Tab. 1) vorliegen. Zu den tatsächlich autochthonen Vertretern sind der ab der PZ B dominante Sanddorn (*Hippophaë*) und vor allem die bereits angeführten zahlreichen, lichtliebenden Kräuter zu rechnen. Neben Süßgräsern (Poaceae) sind verschiedene Heidekräuter (Ericaceae p. p.), Beifuß (*Artemisia*), Gänsefußgewächse (Chenopodiaceae), Nelkengewächse (Caryophyllaceae) sowie die Grasnelke (*Armeria*), das Meerträubel (*Ephedra*), die Wiesenraute (*Thalictrum*) und das Sonnenröschen (*Helianthemum*) erwähnenswert.

Für das ausgehende Saalepleniglazial wird aufgrund der pollenanalytischen Befunde die Ausbildung einer noch baumfreien, insgesamt sehr vegetationsarmen Landschaft abgeleitet, in der Offenlandgemeinschaften, eventuell durchsetzt mit schütteren Zwergbirken- und Wacholdergebüschen, vorherrschend waren. Wegen der fehlenden geschlossenen Vegetationsdecke unterlag das noch ungefestigte Bodensubstrat vielerorts einer fortlaufenden Erosion, verbunden mit der Einschwemmung feinklastischer Sedimente und einem erheblichen Eintrag von präquartären Sporomorphen. Je nach Sedimentausbildung schwanken die Gesamtmächtigkeiten des Abschnittes im Vergleich der einzelnen Lokalitäten scheinbar erheblich (siehe z. B. Gräbendorf-Reddern und Schönfeld gegenüber Strausberg, Abb. 4), jedoch sind diese kein tatsächliches Maß, da nur in den wenigsten Fäl-

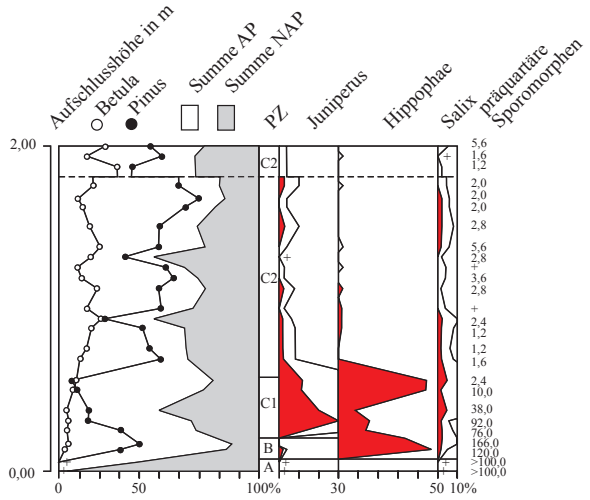
Hinterste Mühle



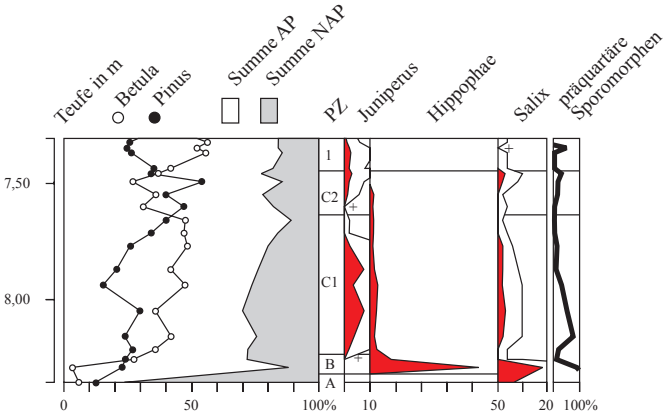
Strausberg



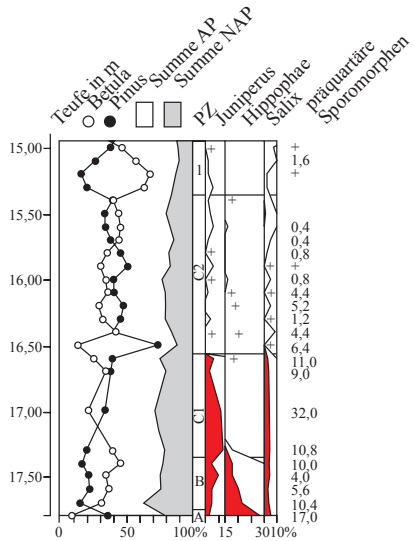
Schönfeld



Klinge



Gräbendorf-Reddern



Rehnsdorf

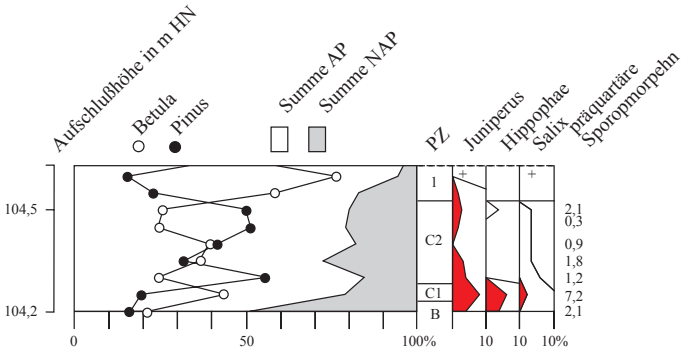


Abb. 4
Vereinfachte Pollendiagramme von Aufschlüssen/Bohrungen der Länder Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg mit hochauflösenden saalespätglazialen Ablagerungen

Fig. 4
Simplified pollen diagrams of outcrops/bore holes from Mecklenburg-Vorpommern and Brandenburg with high-resolution deposits of Late Saalian

len eine durchgehende Beprobung der entsprechenden Horizonte erfolgte.

PZ B, Zeit der Sanddorngebüsche

Innerhalb der PZ B breitete sich der Sanddorn (z. T. erhebliche Maxima, vgl. Strausberg, Schönfeld, Klinge, THW 11685/06) innerhalb einer immer noch offenen, durch Kräuter beherrschten Landschaft aus. Zu den Offenlandelementen gehörten vor allem Sauergräser (Cyperaceae, hier auch entsprechender Standorteinfluss aus den Uferrandbereichen der Standorte möglich!), Süßgräser, Beifuß, Gänsefußgewächse, verschiedene Heidekrautgewächse und, wenn nicht auf Quellmoor- oder Sumpfböden anzutreffen, auch der kalkreiche Feuchtsubstrate bevorzugende, kältezeigende Dornige Moosfarn (*Selaginella selaginoides*). Seitens der präquartären Sporomorphen zzgl. der verschiedenen, meist ebenfalls resedimentierten Kiefern-Pollentypen ist generell zwar ein insgesamt rückläufiger Trend feststellbar, dennoch bleibt insbesondere in den genannten Profilen mit sehr hohen Sanddorn-Werten eine Häufung bestehen. Dies lässt, in Zusammenhang mit dem fortwährenden klastischen Eintrag in die Sedimentationsräume, auf nach wie vor stattfindende Bodenbewegungen schließen.

Da der Sanddorn nur sehr geringe Pollenmengen erzeugt, ist bezüglich der meist über 5% liegenden Pollenfrequenzen von einer flächenhaften Verbreitung des Gehölzes auszugehen. Als fördernd wirkten sich dabei sowohl das noch instabile, oft basen- und kalkreiche Bodensubstrat in der jeweiligen Standortumgebung als auch der noch unterbleibende Konkurrenzdruck durch andere Gehölze und die damit verbundene Beschattung aus.

Anstelle der überwiegend akkumulierten feinklastischen Ablagerungen (meist Feinsande) treten an Pflanzenresten mehr oder weniger reiche Schluff-, Kalk- u./o. Detritusmudden. Diese sind wie der rapide Rückgang des Sanddorns am Ende der PZ B Ausdruck beginnender Sedimentationsberuhigung bzw. sich nach und nach festigenden Bodensubstrats.

PZ C 1, Zeit der Birken-Wacholder-Sanddorn-Gemeinschaften

Im Übergang zur PZ C1 liegt in den meisten der verglichenen Profile (Abb. 4) der markante Abfall der Sanddorn-Kurve sowie der Beginn der Birken- und vor allem der Wacholderausbreitung bei gleichzeitigem Rückgang der allochthonen Kiefernanteile.

Während dieses vegetationsgeschichtlichen Abschnitts unterlag der Sanddorn zum einen dem Konkurrenzdruck der sich ausbreitenden Birke (THW 11685/06, Klinge, Gräbendorf-Reddern, Rehnsdorf). Für Hinterste Mühle existieren dabei karpologische Belege (det. KEDING in STRAHL 2000) von überwiegend Baumbirken (*Betula alba* s. l., *B. tortuosa*) und, wenn auch wesentlich seltener, der Zwergbirke (*Betula nana*). Zum anderen führte aber auch die progressive Festlegung der Bodensubstrate zum allmählichen Verschwinden des Sanddorns.

Anstelle der weitflächig verbreiteten, in der PZ B dominierenden Sanddorngebüsche traten Birken-Wacholder-Gemeinschaften. Präquartäre und möglicherweise auch aufgearbeitete interglaziale Sporomorphen sind im Verlauf der PZ C 1 nun deutlich rückläufig.

Weiterhin war eine sehr reiche spätglaziale Kräuterflora mit Süßgräsern, Beifuß und seltener Wegerich (*Plantago*), Sonnenröschen, Krähenbeere (*Empetrum*), Gipskraut (*Gypsophila*), anderen Nelkengewächsen, Gänsefußgewächsen, verschiedenen Korbblütlern (Tubuliflorae, Liguliflorae) und Heidekräutern existent.

Im Übergang in die bzw. erst in der PZ C zeigt sich mancherorts eine erste Versumpfungsphase, die sich sowohl lithologisch (Torfakkumulation) als auch in einer Reihe der Pollendiagramme (Hinterste Mühle, Schönfeld, Rehnsdorf) über einen Steilanstieg der Sauergras-Kurve dokumentiert und zu einer Überlagerung der zeitgleich erfolgenden Birken-Ausbreitung, beispielsweise in Hinterste Mühle und Schönfeld, führte.

PZ C 2, Zeit der Kiefern-Birken-Wacholder-Gemeinschaften

Dieser Abschnitt stellt eine Besonderheit in der saalespätglazialen Vegetationsentwicklung Berlin-Brandenburgs dar: Vor dem eigentlichen Beginn des Eem-Interglazials mit seiner initialen Birken-Phase (PZ 1 nach ERD 1973, s. ff.) liegt eine erste Kiefernausbreitung, die zu einer zwischenzeitlichen Verdrängung oder zumindest zu einem deutlichen Rückgang sowohl von Birke und Wacholder als auch der spätglazialen Kräuterflora führte. Diese baute sich im Wesentlichen aus Süß- und Sauergräsern, Beifuß, Sonnenröschen, Gänsefußgewächsen und seltener auch Steinbrech (*Saxifraga*), Gipskraut und Meerträubel auf.

Die Etablierung solcher, mit Sicherheit sehr lichter, oft durch die Kiefer dominierter Wald(?)-Bestände ist inzwischen bekannt von zahlreichen Untersuchungspunkten in Brandenburg (u. a. Klinge, Schönfeld, Rathenow, Rehnsdorf), Mecklenburg-Vorpommern (Hinterste Mühle und Klein Klütz Höved, STRAHL unveröff.) sowie auch aus Ostpolen (Dziewule, BIŃKA & NITYCHORUK 2003). Da zu diesen Befunden teilweise auch Makrorestbelege existieren, ist von einer tatsächlichen Anwesenheit der Kiefer in den entsprechenden Gebieten und nicht nur von einem ausschließlichen oder ungewöhnlich hohen Fernflugeintrag auszugehen. Ebenso ist eine Resedimentation aus älteren Ablagerungen (vgl. FREUND 2000) nahezu auszuschließen, da in der Mehrzahl der Profile präquartäre Sporomorphen sehr stark zurückgehen (meist auf unter 1%) bzw. überhaupt nicht mehr erscheinen. Die zahlreichen, in Hinterste Mühle aufgefundenen Nadelfragmente (KEDING, in STRAHL 2000) konnten wie auch die in den Profilen Hinterste Mühle und THW 11685/06 häufig nachgewiesenen Spaltöffnungen keiner konkreten Kiefernspezies zugeordnet werden. Die ausschließlich pollenanalytischen Kiefernnachweise in Dziewule (BIŃKA & NITYCHORUK 2003) werden dagegen mit der heute in den Alpen, Karpaten und weiten Teilen Nordeurasiens verbreiteten Zirbelkiefer (*Pinus cembra*) in Verbindung gebracht, die möglichst frische, lockere Böden bevorzugt sowie warme Sommer und eine hohe Luftfeuchte benötigt (GODET 1994). Im ostpolnischen Gebiet war zudem

mit der Kiefernausbreitung offensichtlich auch ein Vordringen der Fichte verbunden. Inwieweit hier eine tatsächliche Ausbreitung oder lediglich ein Fernflugeintrag beider Nadelgehölze vorliegt, ist wegen der fehlenden Makrorestbelege nicht zu entscheiden.
Weshalb die Kiefer in Berlin-Brandenburg zu Beginn des Eem-Interglazials durch die Birke wieder verdrängt werden konnte, ist derzeit nicht geklärt. Ein klimatisches Phänomen, explizit ein Kryomer im Range einer Jüngeren Dryas, wie aus der Zentralen Osteuropäischen Ebene (Cheremoshnik, NOVENKO et al. 2005) oder aus dem marinen Bereich (Küste vor Portugal, SANCHEZ-GOÑI et al. 1999) innerhalb des als Termination II bezeichneten saalespätglazialen Zeitraums beschrieben, ist nicht festzustellen. Dies gilt auch für die als deren Ausdruck gewertete und als baumlose Tundra interpretierte kräuterreiche und waldarme Phase vor dem Interglazialbeginn im Profil Amsterdam-Terminal (VAN LEEUWEN et al. 2000). Neben den Makrorest- und Spaltöffnungsbelegen zeugen auch Molluskenuntersuchungen (Klein Klütz Höved, FRENZEL in STRAHL et al. 1994, Strausberg, MENG, schrftl. Mitt. und Neumark-Nord, MENG 2007) anhand ihrer Faunenzusammensetzung von einem bereits im ausgehenden Saalespätglazial einsetzenden, ungebrochen positiven Klimatrend. Grundsätzlich ist in einer ganzen Reihe der auf Toteis zurückgehenden Hohlformen im Übergang in das Eem-Interglazial, abgeleitet aus der Umstellung des spätglazialen Torfwachstums auf die Akkumulation von überwiegend Kalk- oder Schluffmudden, eine rasche Eintiefung selbiger feststellbar, die mit der nun offenbar rapiden Wiedererwärmung in Verbindung gebracht werden muss. Möglicherweise kam es dabei auch zu einschneidenden Veränderungen im Feuchteangebot, die eine Durchsetzung der Birke gegenüber der Kiefer zu Beginn des Eem-Interglazials förderte.
Geochronometrische Altersbestimmungen für das ausgehende Saaleglazial liegen bis dato nur aus dem Geotop Klinge (DEGERING & KRBETSCHEK 2007, S. 127) vor. Die durch Lumineszenzmethoden (Quarz-OSL- bzw. IR-RF-/IRSL- Methode an Kalifeldspat) ermittelten Daten (Einzelpräparat-Regenerations-Technik: SAR) weisen allerdings teilweise große Fehler auf, insbesondere die der Quarz-SAR-Datierung, die hier die Datierungsgrenze zum Älteren erreicht. Dennoch gehen die Autoren von der Richtigkeit eines saalespätglazialen Alters aus. Die fehlergewichteten Mittelwerte aus den verschiedenen Lumineszenzdatierungen ergeben für zwei Proben unmittelbar aus dem beginnenden Eem-Interglazial 127 ± 8,3 ka (4 Datierungen) und stratigraphisch wenig höher 120 ± 9,2 ka (3 Datierungen) (KRBETSCHEK, pers. Mitteilung).
Bezüglich der Ableitung eines echten Verteilungsmusters mehr oder weniger vollständiger saalespätglazialer Ablagerungen innerhalb Brandenburgs und Berlins zeigt sich primär wohl hauptsächlich eine Abhängigkeit von der Untersuchungsdichte der Profile. So wird das sich andeutende negative E-W-Gefälle zumindest mit den Profilen der Bohrungen Pritzwalk 1/99 (STRAHL 2000d), Rathenow 1 (FREUND 2000), Nedlitz 1/92 (STRAHL 2001) und der bereits im Sachsen-Anhaltinischen Bereich des Hohen Flämings liegenden Bohrung Nedlitz 1A/87 (STRAHL 2007f) bezüglich des Nachweises der PZ A-C 2 bzw. PZ C 1 - C 2 durchbrochen.

3.2 Eem-Interglazial

Die Grundlage der gegenüber ERD (1973) erheblich erweiterten Dokumentation der eeminterglazialen Vegetationsentwicklung in Berlin und Brandenburg bildeten insgesamt 55 Pollendiagramme. Letztendlich genutzt wurden aufgrund der sehr unterschiedlichen, meist vom Probenabstand abhängigen Auflösung 37 Diagramme unter Einbeziehung des Aufschlusses Hinterste Mühle als Richtprofil für das nördliche Jungmoränengebiet und der Bohrung Nedlitz 1A/87 als Richtprofil für den Hohen Fläming. Sämtliche Pollendiagramme zu den in Tabelle 1 aufgeführten Vergleichsprofilen sind, ausgenommen die bereits veröffentlichten, über ein gesondertes, bei den Autoren erhältliches PDF-Dokument verfügbar.
Um regionale Besonderheiten der in Mitteleuropa und damit auch in Berlin und Brandenburg sehr einheitlichen eemzeitlichen Waldsukzession, insbesondere der Wiedereinwanderung bzw. Verdrängung einzelner Gehölze deutlich machen zu können, erfolgte eine Aufteilung des Landesterritoriums inklusive Berlin in einen nördlichen, westlichen und mittleren sowie einen östlichen und südlichen Teil (vgl. Tab. 1).
Des Weiteren gibt Abbildung 5 einen zusammenfassenden Überblick zum generellen Ablauf, zur Dauer sowie zu vegetationsgeschichtlichen und klimatischen Besonderheiten des Eem-Interglazials. Die Abhandlung der einzelnen, eeminterglazialen PZ (1-9) erfolgt nach der im LBGR gebräuchlichen Zonierung von ERD (1973). Wegen dieser gegenüber Mittel- (LITT 1994) und Nordwestdeutschland (MENKE & TYNNI 1984 bzw. SELLE 1962, MÜLLER 1974) abweichenden und der häufig in älteren Arbeiten genutzten dänischen Zonierung nach JESSEN & MILTHERS (1928), erfolgt in Tabelle 2 eine vergleichende Gegenüberstellung, komplettiert mit den Angaben zur an Jahresschichten ermittelten absoluten Dauer der einzelnen Abschnitte (MÜLLER 1974) und der allgemeinen Warmzeitzonierung nach LANG (1994).
Der frühwarmzeitliche Zeitraum des Eem-Interglazials ist durch die Ausbreitung lichtanspruchsvoller Gehölze (Lichtholzphase, Phase A nach LANG 1994, Tab. 2) gekennzeichnet und umfasst die PZ 1-3 nach ERD (1973).
Pollenanalytische Daten zum betreffenden Zeitraum liegen lediglich aus 71 der 201 erfassten Profile vor, wobei 31 in Pollendiagrammen dargestellt sind. Insgesamt zeigen sich größtenteils sehr geringe Sedimentmächtigkeiten, was unter Zugrundelegung der absoluten, insbesondere bezüglich der PZ 1 (≥ 100 a) und 2 (200 a, MÜLLER 1974) sehr kurzen Dauer nicht verwundert. In Anbetracht der nur selten engen Beprobung eemzeitlicher Profile ist somit wohl mehr eine einfache Überprobung des Abschnittes als ein echter Hiatus Ursache seiner Absenz.
International gilt für den Beginn des Eem-Interglazials das erste klare Signal der Wiedererwärmung, das mit der interglazialen Waldausbreitung (z. T. extremer Anstieg der Birken-Pollenkurve, s. ff.) gegeben ist. Dementsprechend als

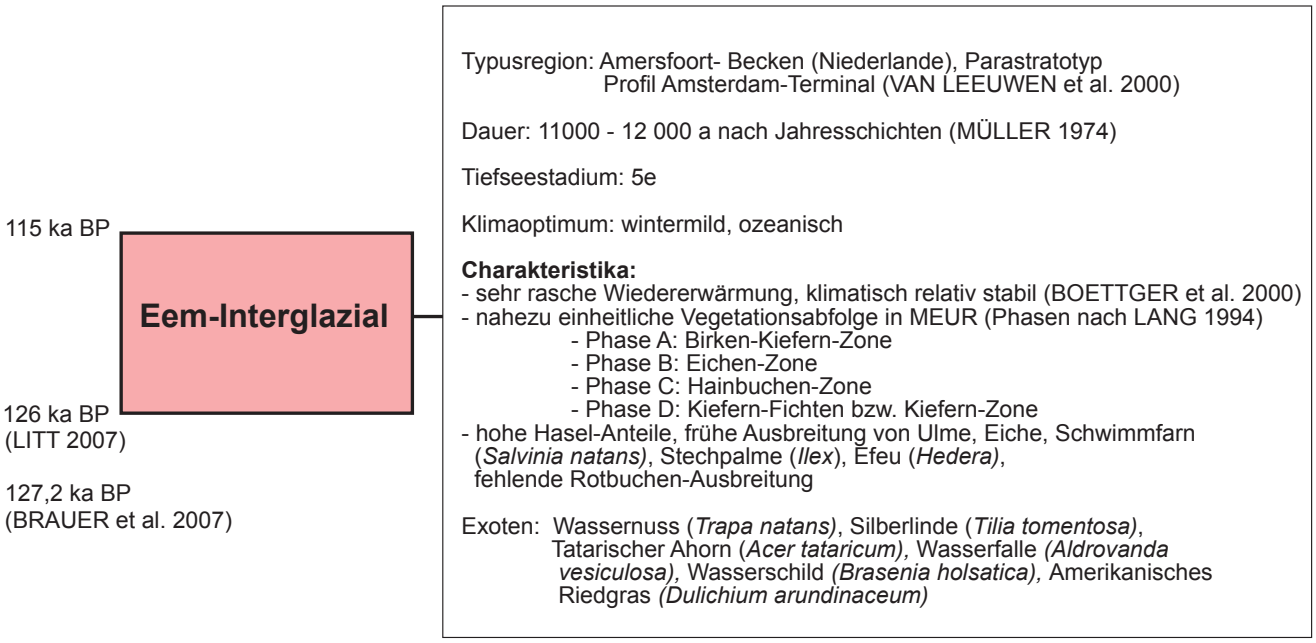


Abb. 5
Zusammenfassende graphische Übersicht zu Dauer, Ablauf und vegetationsgeschichtlichen Aspekten des Eem-Interglazials

Fig. 5
Recapitulatory graphical overview concerning length, development and particularities of vegetation history of the Eemian interglacial

internationaler Parastratotyp für das Eem-Interglazial und jüngst auch als Holostratotyp (**G**lobal **S**tratotype **S**ection and **P**oint = GSSP) für die Basis des Jungpleistozäns vorgeschlagen (Litt & Gibbard 2008), gilt das Profil Amsterdam-Terminal aus dem niederländischen Amersfoort-Becken. Während der absolute Beginn im Stratotypenband Quartär (Litt 2007) noch über die Korrelation mit dem Plateau des marinen Isotopenstadium (OIS) 5e bei 126 ka BP und das Ende bei 115 ka BP festgelegt ist, wird inzwischen jedoch das durch Warvenzählungen verifizierte terrestrische Profil Monticchio (Brauer et al. 2007) mit einem absoluten Beginn bei 127.2 ka BP (Abb. 5) favoritisiert (Kühl et al. 2007, Litt & Gibbard 2008). Grund für die Bevorzugung dieses Datums ist eine bestehende Zeitdifferenz zwischen der deutlich früher liegenden Grenze der marinen Isotopenstadien 6/5e und der terrestrischen Saale/Eem-Grenze. Diese Zeitdifferenz zwischen marinem und terrestrischem Signal ist inzwischen auch über palynologische Daten aus der westlich Portugal im Atlantik liegenden Bohrung MD95-2042 bestätigt worden (Sanchez-Goñi et al. 1999, Shackleton et al. 2003).

Für das frühe Eem im mitteldeutschen Raum (Lokalitäten Gröbern und Grabschütz) vermuten Kühl et al. (2007) ein relativ kontinentales, durch nur geringe Niederschlagsmengen gekennzeichnetes Klima, was die aktuellen Untersuchungen am eemzeitlichen Becken von Neumark-Nord 2 (Geiseltal, Strahl unveröff.) über den Nachweis der umfangreichen Beteiligung von Steppenelementen zu bestätigen scheinen. Inwieweit sich der Kontinentalitätsgrad in Richtung Norden abschwächt, bleibt nachfolgend zu klären. Die mittlere Julitemperatur wird von Kühl et al. (2007) auf >19 °C geschätzt, die im Verlauf des klimatisch recht stabilen Interglazials (Böttger et al. 2000) bei stetigem Anstieg der jährlichen Niederschläge (um ca. 100 mm) und damit zunehmender Ozeanität um etwa 2 °C absank. Dem gegenüber diskutieren Bińka & Nitychoruk (2003) für den ostpolnischen Raum eine kontinuierliche Abnahme der Niederschlagsmengen und eine damit verbundene Kontinentalisierung des Klimas im Verlauf des Eems.

PZ 1, Birken-Zeit

Die im Gebiet von Berlin und Brandenburg nach den bisher vorliegenden Daten vermutlich kontinuierlich seit dem ausgehenden Saaleglazial fortschreitende, jetzt rapide Wiedererwärmung (vgl. Kap. 2.1) führte, vor allem auf Kosten der Kiefer, zur nachhaltigen Ausbreitung von Birkenwäldern in der Landschaft (Abb. 4, Eem-Beispielpollendiagramm Eichow; Abb. 6). Spätglaziale Offenlandelemente, vor allem die meisten Kräuter (u. a. Süß- und Sauergräser, Beifuß, Gänsefußgewächse, Dorniger Moosfarn) aber auch der Wacholder, verloren mit der stetigen Schließung des Walddaches nach dem Durchlaufen des typischen initialen Vorwaldstadiums am Warmzeitbeginn allmählich an Bedeutung. Ein deutliches Süd-Nord-Gefälle ist bezüglich der Einwanderungsgeschwindigkeit von Ulme und Eiche erkennbar, wobei die Ulme sich generell vor der Eiche etablierte. Während beide Gehölze in der Niederlausitz und im Fläming bereits in der PZ 1 geschlossene Kurven aufweisen,

Tab. 2
Gegenüberstellung der verschiedenen, in Nordwestdeutschland und den neuen Bundesländern Anwendung findenden Gliederungen des Eem-Interglazials unter Einbeziehung der allgemeinen Warmzeitgliederung nach LANG (1994)

Tab. 2
Comparison of the various zonings of Eemian interglacial applied in Northwest Germany and the newly-formed German states including the common interglacial division of LANG (1994)

Warmzeitphasen nach LANG (1994)	Waldzeiten	Gliederung des Eem-Interglazials nach					Absolute Dauer nach MÜLLER (1974)
		JESSEN & MILTHERS (1928)	MENKE & TYNNI (1984)	SELLE (1962) MÜLLER (1974)	ERD (1973)	LITT (1994)	
		Dänemark	Nordwestdeutschland		DDR	Elbe-Saale-Gebiet	
Phase D (telokratische Ph.) Kiefern- bzw. Kiefern-Fichten-Zone	Kiefern-Zeit	i	VII	VIb VIa	9	7	~ 2000 a
	Kiefern-Fichten-Tannen-Zeit	h	VI	Vb Va	8	6b 6a	~ 2000 a
Phase C (mesokratische Phase, 2. Teil) Hainbuchen-Zone	Hainbuchen-Fichten-Zeit Hainbuchen-Zeit	g	Vb Va	IVb IVa	7 6	5	~ 4000 a
Phase B (mesokratische Phase, 1. Teil) Eichen-Zone	Hasel-Eiben-Linden-Zeit	f	IVb	IIIc	5	4b	~ 1200 a
	Eichenmischwald-Hasel-Zeit		IVa	IIIa-b	4	4a	~ 1200 a
Phase A (protokratische Ph.) Birken-Kiefern-Zone	Kiefern-Eichenmischwald-Zeit	e	III	IIb	3	3	~ 450 a
	Kiefern-Birken-Zeit	d	II	IIa	2	2	~ 200 a
	Birken-Zeit	c	I	I	1	1	~ 100 a

die im Übergang zur PZ 2 (Kiefern-Birken-Zeit) ansteigen (Abb. 6), sind nach Norden entweder nur sporadische oder mit Werten unter 1% bleibende Belege vorhanden. Die Einwanderung verschiebt sich hier bis in die PZ 2, wobei ein Steilanstieg der Kurven erst an der Grenze PZ 2/3 zu verzeichnen ist. Nach HUNTLEY & BIRKS (1983) sprechen Anteile ≥ 2% an der Gesamtpollensumme für die lokale Präsenz beider Gehölzarten.

In seit dem Saalespätglazial aktiven Gewässern entwickelten sich je nach herrschenden Trophieverhältnissen vielerorts neben submersen Gesellschaften mit verschiedenen Laichkräutern (*Potamogeton*), Ähren- (*Myriophyllum spicatum*) und Wechselblütigem Tausendblatt (*M. alterniflorum*) auch Schwimmblattgesellschaften mit See- (Nymphaea) und Teichrose (Nuphar) weiter heraus. In ihnen erschienen vereinzelt das submerse Hornblatt (*Ceratophyllum*; in Klinge seit dem Saalespätglazial) und gelegentlich auch schon der Gemeine Schwimmfarn (*Salvinia natans*; Hinterste Mühle, karpologischer Beleg KEDING in STRAHL 2000), der an ruhige, windgeschützte, nährstoffreiche und vor allem warme Gewässer angepasst ist. Nach MAI (1985) ist für die Reife der Sporocarpien des Gemeinen Schwimmfarns sowie für die Fruchtbildung beim Hornblatt eine Sommertemperatur von mehr 25 °C notwendig, was beiden einen relativ hohen thermischen Indikatorwert verleiht.
Die Uferregionen der früheemzeitlichen Seen wurden mehr und mehr durch wärmeanspruchsvollere Röhrichtgürtel mit Rohr- oder Igelkolben (*Typha/Sparganium*) und später auch Breitblättrigem Rohrkolben (*Typha latifolia*) eingenommen, die häufig ausgebildete spätglaziale Schachtelhalm (*Equisetum*)-Sauergras-Sümpfe ablösten. Der Breitblättrige Rohrkolben mit seiner subtropisch-borealen, schwach subozeanischen Verbreitungstendenz gilt ebenfalls als guter Wärmezeiger und deutet wie das streng alkaliphile und daher als thermischer Indikator ungeeignete Ährentausendblatt auf einen verhältnismäßig hohen Trophiegrad am jeweiligen Standort hin (IVERSEN 1954, MAI 1985, 1995). Ebenfalls erstmalig erscheint der Sumpffarn (*Thelypteris palustris*; Rathenow 1) als Neubesiedler der Uferregion. Er ist als atlantisches, wärmezeigendes Element der eemzeitlichen Verlandungsgesellschaften am Standort zu interpretieren und verweist auf die beginnende Ausbildung bodensaurer Bereiche (Säurezeiger, ELLENBERG 1979, MAI 1985).

PZ 2, Kiefern-Birken-Zeit
Die PZ 2 ist Berlin-Brandenburg-weit durch die rasche, gegenüber der Birke häufig zur Dominanz führenden Expansi-

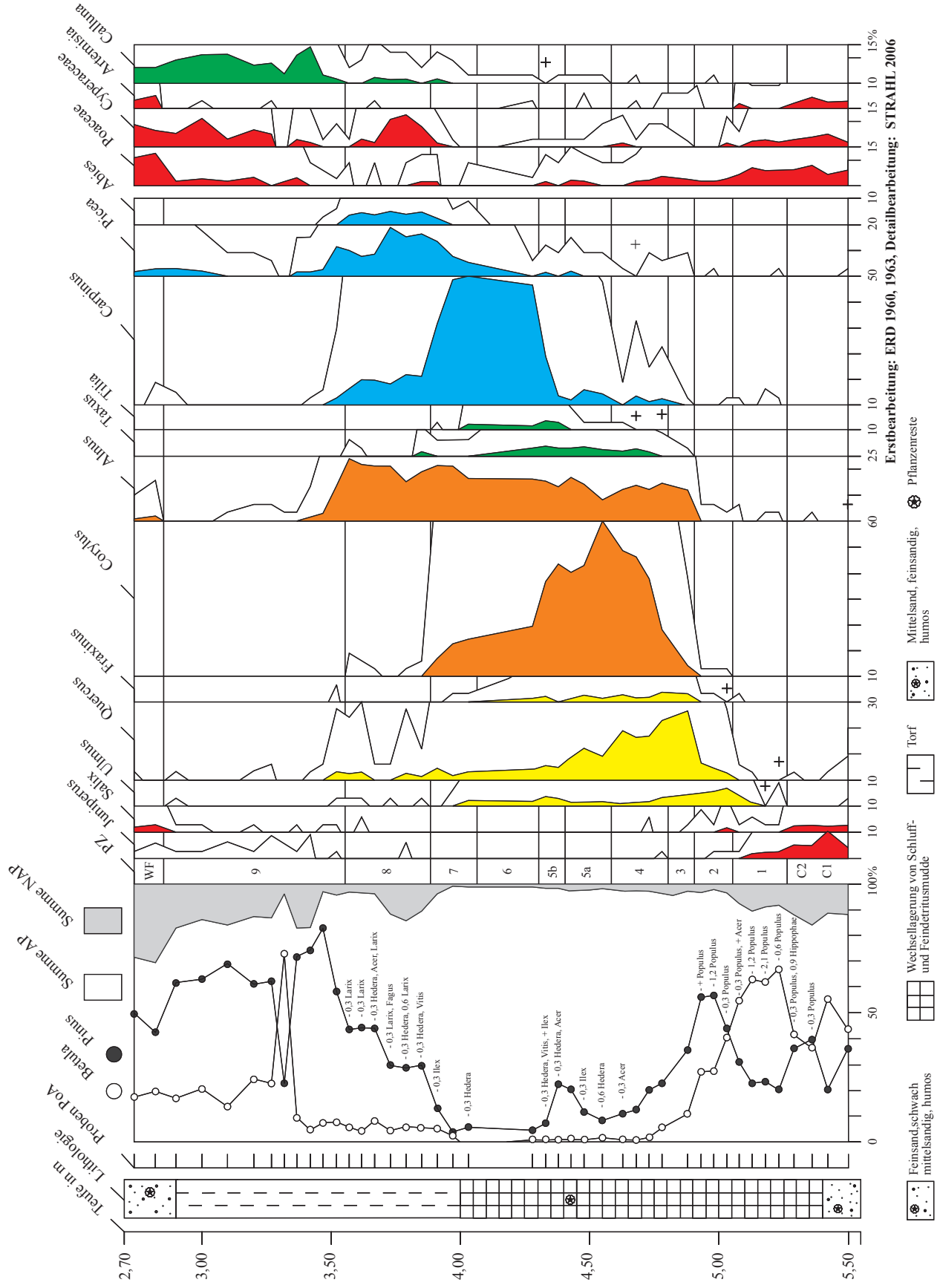


Abb. 6 Pollendiagramm der Bohrung Eichow 4/59 (ausgewählte Taxa)
Gesamtpollensumme = AP + NAP = ± 335 = 100%, exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Sporen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, + = außerhalb der Grundsumme
Fig. 6 Pollen diagram of bore hole Eichow 4/59 (selected taxa)
basis sum AP + NAP = ± 335 = 100%, excl. swamp- and waterplants, sporae, algae and other micro remains, values < 1% with tenfold exaggeration, + = out of basis sum

on der Kiefer geprägt, die mit der endgültigen Verdrängung heliophiler Gehölze und Kräuter einherging. Eine Ausnahme bildet das Vorkommen Vevais am Oderbruchrand, hier blieb die Birke vermutlich aufgrund der besonderen standörtlichen Bedingungen durchgehend in den Lichtholzphasen zu Beginn und am Ende des Interglazials vorherrschend. Gegenüber dem Fläming und der Lausitz verzögert, wo die Ulme schon erste Maximal-Werte erreicht (vgl. Abb. 6), steigen erst jetzt zeitlich versetzt die Kurven von Ulme und Eiche in den meisten Pollendiagrammen an. In Spuren erschienen Erle und Esche (*Fraxinus*) und im Bereich des Südlichen Landrückens auch schon die Hasel.
Desgleichen existieren erste vereinzelte Nachweise atlantischer Klimaindikatoren (Tab. 3) mit der Stechpalme (*Ilex*), deren absolute Nordgrenze in Europa heute in Südnorwegen im Unterholz der borealen Nadelwaldzone liegt (MAI & WALTHER 1988), dem Efeu (*Hedera*), der Binse (*Cladium mariscus*) und dem Königsfarn (*Osmunda*). Dabei besteht schwerpunktmäßig mehr eine Konzentration auf das Gubener Land und die Lausitz (Atterwasch, Gräbendorf-Reddern, THW 11685/06) und weniger auf den Norden (Hinterste Mühle, Jakobsdorf). Bezüglich des im Interglazialverlauf ansteigenden Ozeanitätsgrades besonders aussagekräftig sind vor allem Efeu und Stechpalme. Sowohl der Königsfarn als auch die Binse bleiben hier wegen ihrer speziellen standörtlichen Ansprüche von nur eingeschränkter Aussagekraft. So reflektiert das Verbreitungsmuster des Königsfarns in Tabelle 3 für den Berlin-Brandenburger Raum in erster Linie die Ausbildung geeigneter Moorstandorte an den einzelnen Lokalitäten und sekundär die Einstellung feuchtwarmer Klimabedingungen. Selbiges gilt für die Binse, die vorrangig an ein kalkreiches Bodensubstrat innerhalb des Verlandungsbereichs gebunden ist. Hinweise auf eine frühe progressive Verlandung liegen zunächst nur für vereinzelte Hohlformen mit der beginnenden Akkumulation von Grobdetritusmudde bzw. Torf (z. B. Hinterste Mühle, Wolkenberg) vor, die dann erst im höheren Interglazial auch eine größere Anzahl von Lokalitäten betrifft.

PZ 3, Kiefern-Eichenmischwald-Zeit
Während der Kiefern-Eichenmischwald-Zeit blieb die Kiefer zunächst noch vorherrschende Baumart, lediglich im östlichen Brandenburg spielten auch größere Birken-Vorkommen weiterhin eine Rolle (Vevais, Ladeburg). Gleichzeitig erreichten Eiche und Ulme ihren Verbreitungshöhepunkt. Der Gipfel der Eichen-Kurve ist dabei in der Regel dem Steilanstieg der Hasel an der Grenze zur PZ 4 (Eichenmischwald-Hasel-Zeit) vorgeschaltet. Die pollenanalytischen Maxima liegen im nördlichen Jungmoränengebiet bei etwa 15%, in den übrigen Gebieten in der Regel zwischen 20-30%, in einigen wenigen Fällen auch darüber (u. a. Vevais, Strausberg, Borgisdorf). Die Ulme kulminiert vor der Eiche bei deutlich niedrigeren Werten. Die geschlossenen Kurven von Hasel und Erle setzen, abgesehen vom Einwanderungsverhalten der Erle in der Lausitz, innerhalb der PZ 3 ein. So ist eine sehr frühe, noch vor der Hasel an der Grenze PZ 2/3 beginnende Erlen-Einwanderung für die Profile Kittlitz, Gräbendorf-Reddern, THW 11685/06, Eichow (Abb. 6), Jocksdorf und Tschernitz feststellbar. Die Massenausbreitung beider Gehölze erfolgte jedoch erst in der nachfolgenden PZ 4. Des Weiteren existierten überwiegend gut entwickelte Bestände mit Esche, lediglich in den Profilen Kittlitz, Klinge und Schönfeld scheint sich ihre Hauptverbreitung in die nachfolgende PZ 4 zu verlagern. Mit der Etablierung Edellaubholz-reicher Wälder wurden die höhere Lichtansprüche stellenden Kiefern und Birken im Übergang zur PZ 4 sukzessive verdrängt. Dies gilt auch für die Kräuter, lediglich der Beifuß ist insbesondere im Fläming sowie im östlichen und westlichen Brandenburg noch mit höheren Werten nachweisbar.
Dafür gelangte der Adlerfarn (*Pteridium aquilinum*) zur Ausbreitung, überwiegend wohl an bodensaure, feuchte Standorte im Bereich der Laubmischwaldassoziationen (insbesondere mit Eiche) gebunden. BRANDE (1980) führt das Auftreten des Adlerfarns im Holozän auf den Übergang von der Licht (*Betula-Pinus*)- zur Halbschattholzphase zurück, die sich hier mit der Ausbreitung thermophiler Laubmischwälder infolge der Einstellung eines warmen, im Übergang zur PZ 4 wahrscheinlich auch zunehmend subozeanischen Klimas vollzog. Dies wird durch die Erweiterung der Palette der bereits genannten und während der PZ 3 nicht nur wegen der höheren Aufschlusszahl besonders gehäuft im südlichen Brandenburg nachgewiesenen atlantischen Klimazeiger (Tab. 3) mit Mistel (*Viscum*), Liguster (*Ligustrum*) und als weiteres wärmeanspruchsvolles Element auch den Ahorn (*Acer*) unterstrichen. Insbesondere für die Stechpalme liegen aus dem Aufschluss Schönfeld ab der PZ 3 durchgehend Makrorestbelege vor (STRIEGLER 1991).

PZ 4, Eichenmischwald-Hasel-Zeit
Dieser Abschnitt leitet den ersten Teil der mesokratischen Phase der eeminterglazialen Waldentwicklung (LANG 1994, Tab. 2) ein und wird absolut durch die Hasel beherrscht. Mit ihrer Massenentfaltung werden die zuvor dominierenden Eichen-Ulmen-Eschen-Bestände eingeschränkt bzw. mehr und mehr zurückgedrängt. Einziges, ebenfalls in Ausbreitung befindliches Gehölz, da an feuchte und damit eher Hasel-feindliche (Bruchwald-) Standorte angepasst, ist die Erle. In diesem Zeitraum verschwanden bis dahin noch verbliebene Krautschichtbestände, maßgeblich Süßgräser und Beifuß, wegen der Schließung des Walddaches und des damit nachlassenden Lichteinfalls endgültig.
Die Pollenfrequenzen der Hasel liegen teilweise bei mehr als 70%. Nach HUNTLEY & BIRKS (1983) ist sie damit nicht mehr nur als Unterholzbildner (bei Pollenfrequenzen bis 25%) atlantisch geprägter Laubmischwaldgesellschaften, sondern als bestandsbildend (Haselwälder) aufzufassen. In bzw. erst zum Ende der PZ 4 erreichten auch die Eibe (*Taxus*) und die Linde das Berlin-Brandenburger Gebiet. Die Fichte zeigt nach vorhergehenden Einzelnachweisen entweder schon an der Grenze 3/4 oder im Verlauf der PZ 4, also noch vor der Hainbuche Kurvenschluss. Wegen der generell unter 5% bleibenden Pollenfrequenzen (LANG 1994) ist eine lokale Anwesenheit der Fichte bereits zu diesem Zeitpunkt jedoch unwahrscheinlich. Unter den atlantischen Klimazeigern dominieren Efeu und Mistel (Tab. 3) und dies wieder-

Name der Bohrung/ des Aufschlusses/ PZ	Hedera									Viscum									Ilex									Osmunda								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Hinterste Mühle		x		x	x	x	x							x	x	x																x	x	x	x	x
Hy Potzlow 1/73								x																		x							x			
KB Röpersdorf 2/00														x																	x	x				
Jakobsdorf 15/77		x			x	x	x						x	x	x	x							x	x	x											
Pritzwalk 1/99			x		x									x																				x	x	
C 61-10 Trasse Magnetschnellbahn			x	x	x	x	x					x	x	x	x								x	x								x				
Rathenow 1				x	x	x	x	x	x					x	x									x	x	x										
TB Pankow 1/61					x	x	x	x							x		x							x												
Sandgrube Kladow, Westteil					x									x	x									x												
Hy Nedlitz 1/92					x			x					x										x								x			x		
Hy Cf Luckenwalde 55/71				x	x	x	x						x	x								x	x											x		
Ladeburg 1E/61			x	x	x	x	x					x	x	x	x	x						x	x	x									x			
Vevais, Eisenbahnanschnitt			x	x	x	x	x	x					x	x	x	x	x								x											
KB Strausberg 2007			x	x	x	x							x	x	x	x																x	x	x	x	
KB Oderin 2/62		x			x	x											x							x	x										x	
Kerkwitz-Atterwasch A 159/57													x	x	x					x		x	x	x	x	x			x			x		x	x	
THW 1168 5/06		x	x	x	x							x	x	x								x														
Cottbus Nord 1706/71				x			x	x								x											x						x			
Oehna 37/87						x																														
KB Borgisdorf 1/06			x	x	x	x						x	x		x	x														x						
Nedlitz 1A/87			x	x	x	x						x	x		x								x	x								x		x		
Kt 8250/89 Willmersdorf				x	x	x	x	x							x	x	x							x	x	x								x	x	
Brk Sla 8244/89 (Egsdorf)					x		x	x								x							x		x	x										
Schönfeld 1980				x	x	x	x	x					x	x								x	x	x	x		x				x			x		
Kittlitz 3/59			x	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x	x	x					x	x	x	x	x					x	x	x	x	x	
SLA-M Kt 7847 ZA/89, Bathow				x	x	x	x	x					x	x	x	x	x					x	x	x	x	x						x	x			
Eichow 4/59					x		x	x															x		x											
Geotop Klinge		x	x	x	x	x	x						x	x	x							x	x			x						x	x	x	x	
Eisenbahneinschnitt Lug 1966			x	x	x	x																													x	
Kt 8778Z/88 Gräbendorf-Reddern			x	x	x	x	x					x	x	x	x	x													x	x	x	x	x		
Wolkenberg					x		x							x		x									x							x			x	
Rehnsdorf			x	x	x	x							x	x																						
Kieselgur Jocksdorf 29/86			x	x	x	x	x	x				x	x	x	x	x	x						x	x	x	x							x	x	x	
Kieselgur Jocksdorf 23/85			x	x	x	x	x	x				x	x	x	x	x	x					x	x	x	x	x					x	x	x	x	x	
KB Ww 5/2003		x	x	x	x	x	x	x						x	x	x	x						x	x	x	x							x	x	x	

Tab. 3
Tabellarische Übersicht zum Einwanderungsverhalten der atlantischen Klimazeiger Efeu (*Hedera*), Mistel (*Viscum*), Stechpalme (*Ilex*) und Königsfarn (*Osmunda*) in Brandenburg und Berlin anhand ausgewählter eemzeitlicher Profile, rot = Verbreitungsschwerpunkt innerhalb des Eem-Interglazials, gelb = vollständige bzw. nahezu vollständig erhaltene Eem-Vorkommen, grün = erfasste Pollenzonen innerhalb unvollständig erhaltener Eem-Vorkommen, weiß = Fehlstellen

Tab. 3
Tabular overview to the attitude of immigration of atlantic indicators ivy (*Hedera*), mistletoe (*Viscum*), holly (*Ilex*) and royal fern (*Osmunda*) in the Berlin-Brandenburg area on the basis of selected Eemian profiles, red = main distribution within the Eemian, yellow = complete or nearly complete Eemian sequences, green = recorded pollen zones within incomplete Eemian sequences, white = missing pollen zones

um, ebenso wie die Stechpalme, im südlichen Brandenburg deutlicher als im übrigen Gebiet. Ein entsprechendes Verhalten zeigt auch der Ahorn.
Unter den wärmeanspruchsvollen Wasserpflanzen erschien als wichtiges, heute in Europa nicht mehr vorkommendes Element das Wasserschild (*Brasenia*, Hinterste Mühle und karpologische Belege von Klinge, STRIEGLER 2007a) neben Gemeinem Schwimmfarn und Hornblatt, alle für einen recht hohen Trophiegrad sowie für ein erhöhtes Wärmeangebot (18 °C-Isotherme = rezente nördliche Verbreitungsgrenze des Hornblatts) an den entsprechenden Standorten stehend.

PZ 5, Hasel-Eiben-Linden-Zeit
Die PZ 5 lässt auch in Berlin und Brandenburg eine charakteristische Unterteilung in die Subzonen 5a mit der Ausbreitung der Eibe und die Subzone 5b mit der Ausbreitung der Linde in den eemzeitlichen Wäldern erkennen. Die prozentuale Beteiligung beider Gehölze ist dabei offensichtlich sehr stark an die jeweilige Art der laborativen Aufbereitung der Archivsedimente als auch an den Erhaltungszustand geknüpft. So bestehen seitens der Eibe wohl weniger erhebliche Abweichungen aufgrund bestimmter, durch den Kontinentalitätsgrad gesetzter Verbreitungsgrenzen als vielmehr hinsichtlich der unterschiedlichen angewendeten Aufbereitungstechniken bei älteren und jüngeren Bearbeitungen: Während in Profilen unter Nutzung von Ultraschall für die Entfernung des Feinstkornanteils <6 µm die Pollenfrequenzen der Eibe die 5%-Marke kaum überschreiten (vgl. u. a. Hinterste Mühle, Rathenow, Borgisdorf, Rehnsdorf), sind Werte >10% (u. a. Nedlitz 1A/87), >15% (Kittlitz) oder sogar >20% (Ladeburg, Kladow) ohne Nutzung von Ultraschall die Regel. Generell sehr niedrige Werte unabhängig von der Aufbereitung sind dagegen aus Profilen bekannt, die einer postsedimentären Grundwasserspiegelabsenkung unterlagen. Diese führt in der Regel zu einer selektiven Korrosion des enthaltenen Pollen- und Sporeninventars und damit zur Abreicherung insbesondere korrosionsanfälliger Taxa, wie der Eibe und der Esche (z. B. Röpersdorf, Vevais). Des Weiteren zeigt sich vor allem für das südliche Brandenburg eine Splittung der Eiben-Maxima in die PZ 5a und 5b, ansonsten liegt in den übrigen Diagrammen eine Beschränkung der Maximal-Werte auf die PZ 5a vor. Insgesamt dürften für die Einwanderung und nachfolgende Ausbreitung der Eibe mit ihrer ozeanischen Verbreitungstendenz die notwendigen Klimabedingungen hier bereits voll ausgebildet gewesen sein. Dafür spricht zumindest die ab diesem Abschnitt deutliche und Berlin-Brandenburg-weite Häufung der atlantischen Klimaindikatoren inklusive der Stechpalme und wenn auch standörtlich abhängig, des Königsfarns (Tab. 3). Als restriktiver Faktor für ein östliches Verbreitungslimit der Eibe werden konform mit LITT (1994) und FREUND (2000) daher nicht der Ozeanitätsgrad, sondern die wahrscheinlich zu niedrigen Wintertemperaturen gesehen.
Ebenso fallen sehr hohe Linden-Werte von mehr als 10-15% oder sogar 35% für Profile mit entweder reiner Kalkmudde- bis Seekreidesedimentation (Röpersdorf, Vevais, Ladeburg, Glöwen) bzw. Torfakkumulation (Hinterste Mühle, Pritzwalk) ins Auge. Wegen fehlender bzw. nicht artgenauer (Schönfeld, Vevais) Makrorestbestimmungen ist jedoch keine Artzuweisung und ein damit möglicher Rückschluss auf die unterschiedlich stark ausgeprägte Ozeanitätsbindung der auf bessere Böden angewiesenen Sommer- (*Tilia platyphyllos*) und der trockenresistenteren Winterlinde (*T. cordata*) möglich. Der Verbreitungsschwerpunkt der Linde ist in einer Reihe, mit Ausnahme von Tschernitz vor allem nördlich des Südlichen Landrückens liegender Profile (Hinterste Mühle, Röpersdorf, Pritzwalk, Glöwen, Ladeburg und Vevais) in die PZ 6 verlagert. In Vergesellschaftung mit der dort zur Massenausbreitung gelangenden Hainbuche und der Eiche sind Bestände innerhalb von Linden-Hainbuchen-Wäldern (ELLENBERG 1996) denkbar, die aber sicher den deutlichen kontinentalen Einschlag des heutigen mitteleuropäischen Tieflandes vermissen ließen und eher eine vermittelnde Stellung zu den eemzeitlichen Vorkommen in Mitteldeutschland (Gröbern, Grabschütz, Neumark, LITT 1994) besaßen.
Die Hainbuche verhält sich in ihrer Ausbreitung bezüglich eines S-N- oder E-W-Gefälles eher indifferent. So ist ein Kurvenschluss schon am Ende der PZ 3 (Eichow) bzw. innerhalb der PZ 4 (Jocksdorf, Ladeburg), meistenteils aber erst im Verlauf der PZ 5 feststellbar. Der Steilanstieg ihrer Kurve liegt generell an der Grenze der PZ 5/6, der in der überwiegenden Mehrzahl der Profile mit dem Steilabfall der Hasel-Kurve zusammenfällt und eine Etablierung der Fichte zunächst verhindert. Deren Durchsetzung erfolgt erst in der PZ 7 (Hainbuchen-Fichten-Zeit) und endgültig mit dem Rückgang der Hainbuche in der PZ 8 (Kiefern-Fichten-Tannen-Zeit), hier zusammen mit der Tanne.

Die zunehmende Häufung des möglicherweise in enger Vergesellschaftung mit der Erle auf Bruchwaldstandorten und insbesondere in Hinterste Mühle ab der PZ 6 massenhaft vorkommenden, kalkmeidenden Königsfarns, steht für die Ausweitung nährstoffarmer (z. T. dystropher) Moorstandorte. Dafür sprechen auch die steigenden Nachweise des Heidekrautes (*Calluna*) sowie des Wasserschlauchs (*Utricularia*) im Bereich der Moorschlenken.

PZ 6 - Hainbuchen-Zeit
Im Übergang zur PZ 6 setzte die Massenausbreitung der Hainbuche ein, die, vornehmlich mit der nachfolgenden Durchsetzung von Fichte und Tanne in der PZ 7 zu einer Verschattung der Wälder führte. Dieser Abschnitt ist mit dem Beginn des 2. Teils der mesokratischen Phase (C) der interglazialen Entwicklung (LANG 1994, Tab. 2), der Hainbuchen-Zone gleichzusetzen. Dementsprechend wurden Licht-anspruchsvollere Laubgehölze, vor allem die Hasel auf Unterholz- bzw. Gehölzrandstandorte, aber auch die Eiche, Eibe und Esche und schließlich auch die Linde sukzessive verdrängt. Zu beobachten ist dagegen ein leichter bis deutlicher (Wieder-)Anstieg der Werte bei Ulme und Erle, diese insbesondere im Zuge der allmählichen Verlandung vieler Hohlformen zu sehen. Eine tatsächliche Arealerweiterung der Fichte scheint nach der Diagrammlage vor allem auf den Süden Brandenburgs beschränkt zu bleiben, Ausnahmen bilden lediglich die Profile Luckenwalde und

Rathenow. Die überwiegende Zahl der Profile im Bereich des Jungmoränengebiets zeigt eine Fichtenexpansion erst im Übergang zur PZ 7. Wesentlich günstiger ist ab diesem Zeitraum auch die Nachweislage für die Stechpalme (Tab. 3), die zwar Brandenburg-weit in Erscheinung tritt, sich aber auch hier wiederum vor allem im südöst- und südwestlichen Brandenburg häuft. Mit einem Pollenfund der Wassernuss (*Trapa natans*) liegt ein weiterer, selten nachgewiesener, in Europa subozeanisch gebundener und sommerwärmeliebender Exot (Mai & Walther1988) aus dem Profil Luckenwalde vor. Wie der im Eem-Interglazial (u. a. Röpersdorf, Pritzwalk, Strausberg, Vevais, Klinge, Rehnsdorf) und auch heute in Brandenburg noch verbreitete Gemeine Schwimmfarn bevorzugt die innerhalb von Schwimmblattgesellschaften anzutreffende Wassernuss nährstoffreiche, ruhige bis schwach fließende, aber kalkarme Gewässer.

PZ 7 - Hainbuchen-Fichten-Zeit

Im Verlauf der PZ 7 vollzog sich der endgültige Waldumbau hin zu Schattholzwäldern mit Hainbuche, Fichte und schließlich auch Tanne. Ihr Kurvenschluss fällt in der Regel mit dem (Steil-)Anstieg der Fichten-Kurve an der Grenze PZ 6/7 zusammen und erfolgt nur in wenigen Profilen nördlich der Niederlausitz erst im Verlauf der PZ 7. Die Pollenfrequenzen der Hainbuche verbleiben dabei gegenüber der PZ 6 im etwa gleichen Niveau. Ausnahmen bilden die Profile Luckenwalde und Atterwasch, in denen die Hainbuche mit der Ausbreitung der Fichte rückläufig ist. Überhaupt nicht zum Tragen kommt die Fichte dagegen im Profil Vevais, in dem sich die Nadelgehölze insgesamt während des Eem-Interglazials nicht signifikant etablieren konnten (vgl. Brose et al. 2006). Ganz im Gegensatz dazu die Profile Pritzwalk und Klinge, in denen aufgrund der Ausbildung von Moorflächen möglicherweise eine besondere Förderung der Fichte erfolgte. Neben Vevais fällt auch das Profil Strausberg mit seinen bis in die PZ 8 hinein recht hohen Linden-Anteilen auf (standörtliche Förderung?). In der Mehrzahl der Profile sind jedoch alle, einen besonderen Lichtanspruch aufweisenden thermophilen Gehölze in der PZ 7 überwiegend rückläufig.

In den Randbereichen und auf nährstoffarmen, sauren Torfflächen verlandender oder bereits vertorfter Hohlformen, wie exemplarisch in Hinterste Mühle, dominierte der Königsfarn z. T. die übrige Sumpfflora. Der Königsfarn steht neben den nun gleichfalls an ihrem Verbreitungshöhepunkt angelangten atlantischen Klimazeigern Efeu, Mistel und auch Stechpalme für ein insgesamt wohl niederschlagsreiches, immer noch sehr sommerwarmes und wintermildes Klima. Entsprechend Kühl et al. (2007) steht diese Annahme gegenüber der Auffassung von Bińka & Nitychoruk (2003), die für den polnischen Raum aus der zunehmenden Verlandung der Hohlformen auf einen generell absinkenden Wasserspiegel und damit auf einen Rückgang der Niederschlagsmengen oder zumindest auf eine verstärkte Verdunstung während der Sommermonate schließen. Das es sich hier weniger um einen klimatisch gesteuerten Vorgang, als viel mehr um einen natürlichen, häufig vom Trophiegrad abhängigen Verlandungsablauf handelt, zeigt das Einsetzen des Torfwachstums in den einzelnen Hohlformen in Mecklenburg-Vorpommern und Berlin-Brandenburg zu sehr unterschiedlichen Zeitpunkten. Diese können sowohl bereits im frühen Eem (PZ 2: Hinterste Mühle, Kladow, PZ 3 bzw. 3/4: Wolkenberg, Pritzwalk), während des Klimaoptimums (PZ 5: Nedlitz 1/92, PZ 6: Strausberg, Klinge, Gräbendorf-Reddern, Lug, PZ 7: Eichow) aber auch erst im ausgehenden Eem (PZ 8/9 bzw. 9: Schönermark, Schönfeld, Tschernitz) liegen. Auch Hohlformen, die im ausgehenden Eem überhaupt erst eine Sedimentationsaktivität zeigen (Schönermark, verschiedene Profile im Potsdamer Raum), sprechen wohl eher für eine Vernässung von Sedimentationsräumen infolge erhöhten Niederschlagsangebots, das ebenso Voraussetzung für die Bildung von Hochmoortorfen ist (in Lug ab der PZ 8). Die Mehrzahl der Hohlformen zeigt dessen ungeachtet eine durchgehende Sedimentation von Mudden (Kalk- bzw. Schluffmudden). Erste Verlandungserscheinungen sind frühestens im ausgehenden Eem über Fein- bis Detritusmudden und eine Torfbildung im Übergang zum (Rathenow) oder erst im Weichselfrühglazial selbst (Brörup, PZ WF II: Borgisdorf, Wolkenberg) zu verzeichnen.

Ein weiteres Indiz für die Veränderung der klimatischen Verhältnisse sind die Florengemeinschaften der Moortümpel und sommerwarmen Flachgewässer: So existieren in Hinterste Mühle sowohl pollenanalytische als auch karpologische Belege (Keding, schftl. Mitt.) für das Wasserschild und die Seerose neben Großem (*Najas marina*) und Biegsamem Nixkraut (*N. flexilis*, diese auch in Rathenow in PZ 5/6 belegt, Freund 2000), des Gemeinen Schwimmfarns, der Wasserfalle (*Aldrovanda vesiculosa*) und des Amerikanische Riedgrases (*Dulichium arundinaceum*). Alle genannten Taxa, ausgenommen letzteres, gehören dem so genannten "Brasenia-Komplex" (Mai 1985) an. Litt (1994) geht ausführlich auf die von Mai (in Litt 1994) vermutete, primär subkontinentale Bindung des "Brasenia-Komplexes" ein, dessen Vertreter bezüglich der sie bestimmenden Verbreitungsfaktoren aber eher eine Bindung an die Temperatur als an die Ozeanität bzw. Kontinentalität aufweisen dürften. Die höhere Wahrscheinlichkeit dieser Annahme bestätigt die frühe Konzentration atlantischer Klimazeiger gerade im südlichen gegenüber dem nördlichen Brandenburg. Und dies obwohl nach den hiesigen Umständen aufgrund der unmittelbareren Nähe zum Eem-Meer eine deutlich frühere Einstellung ozeanischer Verhältnisse im nördlichen Jungmoränengebiet gegenüber den mitteldeutschen Eem-Vorkommen erfolgt sein müsste. Nach Rühberg et al. in Benda (1995) schob sich das Eem-Meer südlich der heutigen Ostseeküste während des Klimaoptimums im Bereich der Warnow bei Rostock bis ca. 40 km in das Festland hinein und bewirkte damit mit Sicherheit eine Verschiebung des Kontinentalitätsgradienten nach Süden. Bezugnehmend auf die Befunde vom Klein Klütz Höved (Strahl et al. 1994), erfolgte die marine Transgression noch während der ausgehenden PZ 4 oder spätestens zu Beginn der PZ 5, also etwa 2000 Jahre nach Warmzeitbeginn, und dürfte ihren Höchststand in der PZ 7 erreicht haben. Dies koinzidiert mit den Ergebnissen von Zagwijn (1983) für niederländische Eem-Vorkommen.

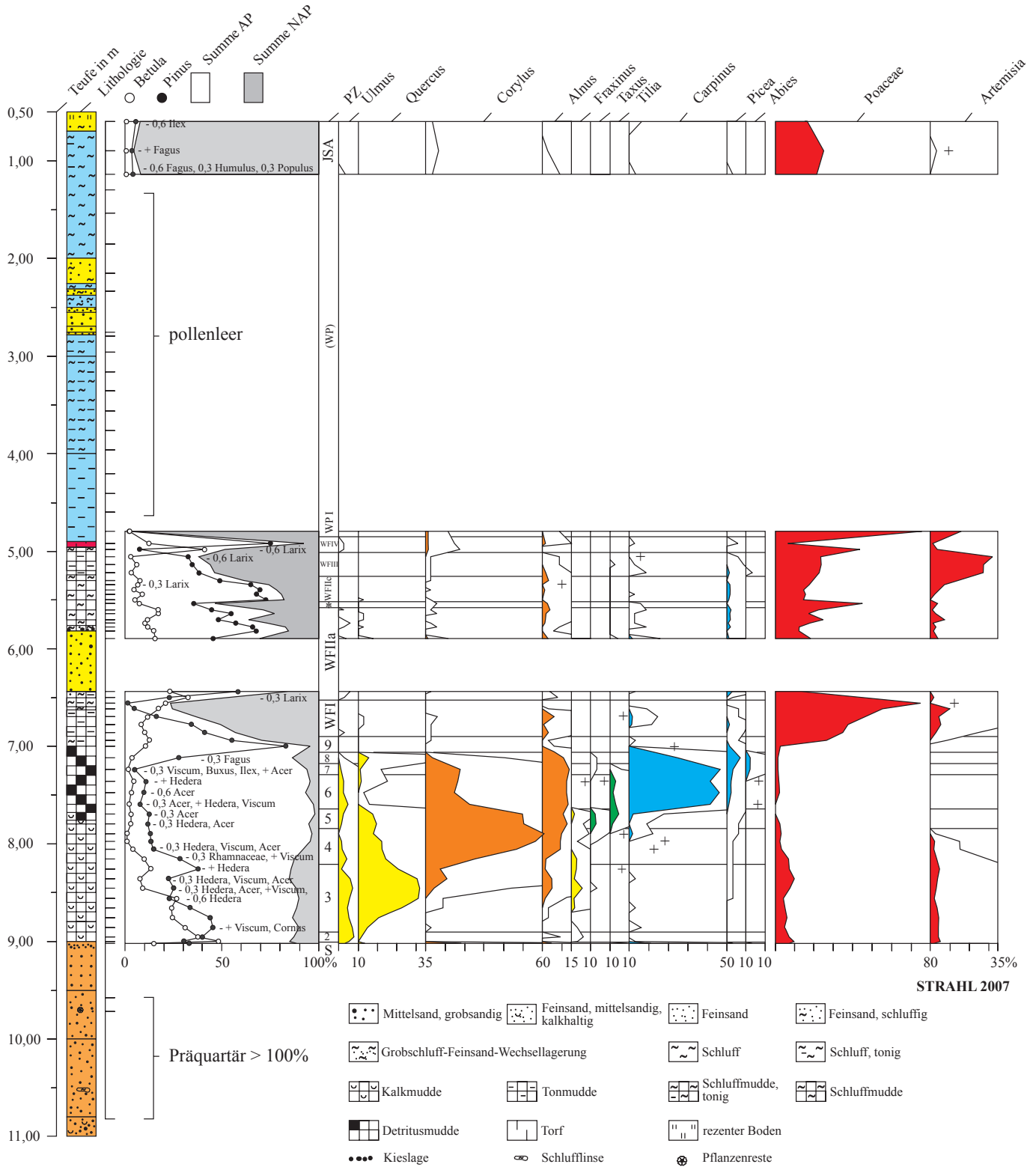


Abb. 7
Pollendiagramm der Bohrung KB Borgisdorf 1/06 (ausgewählte Taxa)
Gesamtpollensumme = AP + NAP = ± 335 = 100%, exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Sporen, Algen, Plankter u a. Mikroreste, + = außerhalb der Grundsumme

Fig. 7
Pollen diagram of bore hole KB Borgisdorf 1/06 (selected taxa)
basis sum AP + NAP = ± 335 = 100%, excl. swamp- and waterplants, sporae, algae and other micro remains, values < 1% with tenfold exaggeration, + = out of basis sum

PZ 8, Kiefern-Fichten-Tannen-Zeit
Während der Kiefern-Fichten-Tannen-Zeit verlor die Hainbuche aufgrund der sich ändernden Klimabedingungen mehr und mehr an Bedeutung. Es stellten sich zwar kühlere, aber angesichts der weiterhin vor allem im südlichen Brandenburg häufig nachzuweisenden atlantischen Klimazeiger (Tab. 3) immer noch (sub)atlantisch geprägte Verhältnisse ein, die sich besonders förderlich auf die Nadelgehölze auswirkten. Anstelle der an Hainbuchen reichen Wälder traten durch Fichte und Tanne dominierte Bestände, in denen sich auch die Kiefer entweder schon im älteren Teil der PZ 8, in dem überwiegend die Maxima von Fichte und Tanne liegen oder erst im Übergang zur Subzone 8b wieder allmählich ausbreitete.
Vor allem die Tanne zeigt dabei in ihrer Verbreitung ein deutliches N-S-Gefälle. So ist sie mit in der Regel unter 5% bleibenden Werten im Jung- (u. a. Hinterste Mühle, Potzlow, Ladeburg, Vevais , Rathenow, Nedlitz, Strausberg, Luckenwalde) und nördlichen Altmoränengebiet (Pritzwalk, Jakobsdorf) gegenüber dem Gubener Land (Atterwasch) und der Niederlausitz (Klinge, Jocksdorf, Tschernitz) unterrepräsentiert. Nach Huntley & Birks (1983) kann bei Werten von etwa 2% bei gleichzeitig geringem NAP-Anteil von einer lokalen Präsenz ausgegangen werden. Dass die Tanne jedoch gegenüber der Niederlausitz klar unter den dort erreichten Werten bleibt, ist anhand ihrer heutigen Verbreitung zu verstehen, die sich im Wesentlichen auf die südlich liegenden Mittelgebirgsregionen (bevorzugt schattige Lagen an West- und Nordhängen der montanen Stufe, Godet 1994) erstreckt.
Als Ausdruck steigender Bodenversauerung ist die z. T. erhebliche Ausbreitung sowohl von Heidekräutern und von Torfmoos (*Sphagnum*) außerhalb vermoorter Standorte als auch eventuell das Wiederauftreten des Adlerfarns (Säurezeiger, Ellenberg 1979) aufzufassen.

Bestehende Bruchwaldassoziationen mit Erle, besonders in den vermoorten aber auch jetzt verlandenden Hohlformen, blieben während der PZ 8 noch durchgehend erhalten, ihr Rückgang setzt erst mit Eintritt in die PZ 9 ein. An ihre Stelle treten häufig, wie zu Beginn der eemzeitlichen Vegetationsentwicklung, wieder Schachtelhalm-Sauergras-Vergesellschaftungen. Ebenso ist ein deutlicher Kurvenanstieg der Birke zu registrieren (Hinterste Mühle, Vevais), die hier möglicherweise auf von Beschattung freie Moorflächen übergriff.

PZ 9, Kiefern-Zeit
Die PZ 9 reflektiert mit der erneuten Etablierung der Kiefer und je nach Standort auch der Birke (Hinterste Mühle, Röpersdorf, Vevais) das klimabedingte Ende des Eem-Interglazials und damit auch der Warmzeit-abschließenden telokratischen Phase (D, Tab. 2) nach Lang (1994). Mit der fortschreitenden Abkühlung erfolgte eine entsprechende Auflichtung der Wälder, die die Wiederausbreitung lichtliebender Kräuter, zunächst vor allem von Süßgräsern und nachfolgend auch wieder Beifuß, erlaubte. Thermophile Gehölze sind in diesem Abschnitt in unterschiedlich hoher Beteiligung zwar noch vorhanden, insgesamt ist aber ein Ausklingen wie auch bei den atlantischen Klimazeigern (Tab. 3) in allen Profilen feststellbar.
Das stark Säure-zeigende Heidekraut (insbesondere Rathenow, Willmersdorf, Eichow, Vevais) und hier signifikant in Ausbreitung befindliche Torfmoose (Hinterste Mühle, Tschernitz) sprechen für die endgültige Einstellung oligotroph-saurer Standortbedingungen und soweit nicht an Moorstandorte gebunden (wie in Vevais) für eine generelle Auslaugung (Entkalkung) der Böden am Ende des Interglazials.
Vormals in noch unverlandeten Hohlformen verbreitete, mehr oder weniger gut entwickelte Schwimmblattgesellschaften verschwanden ebenfalls, an Bedeutung gewannen nun Algen, hier vor allem die Süßwasseralgen *Pediastrum boryanum*, *P. kawraiskyi* und *P. duplex*. Im Profil Schönermark zeigt sich, wie auch stellenweise im Fläming, als Besonderheit eine Häufung des im Bereich sandiger Ufer nährstoffarmer Seen verbreiteten Gemeinen (?) Brachsenkrautes (*Isoëtes* cf. *palustris*).
Bezüglich des Verteilungsmusters weichselfrühglazialer Ablagerungen in Berlin-Brandenburg ist eine nahezu ausschließliche Begrenzung auf die Altmoränengebiete des Fläming (vgl. Borgisdorf, Abb. 7) und der Niederlausitz erkennbar. Die Gebiete im Rückland zeigen entweder eine regelrechte weichselzeitliche Kappung der eeminterglazialen Ablagerungen oder und dies häufiger, eine Aufarbeitung eemzeitlicher Ablagerungen im Weichselfrühglazial ohne in eine weitere, mehrphasige Entwicklung im Weichselfrühglazial überzuleiten.

3.3 Weichselfrühglazial

Von den in der Karte der Eem-Vorkommen aufgeführten pollenanalytisch untersuchten Bohrungen führen insgesamt 74 Ablagerungen des Weichselfrühglazials in sehr unterschiedlicher Qualität. So zeigen 23, insbesondere auf den Bereich des Fläming und der Niederlausitz verteilte Profile (Ausnahme Oderin, Erd 1967a und Zehlendorf-Mitte, Lagies 2001) ein mehr oder weniger gegliedertes Weichselfrühglazial und 41 lediglich seinen Beginn bzw. einen aufgrund hoher Umlagerungsanteile indifferenten Abschnitt oberhalb meist gekappter Eem-Sequenzen. 10 Profile, diese hauptsächlich im Potsdamer Raum gelegen, sind in ihrer Zugehörigkeit zum ausgehenden Eem (PZ 9) oder zu einem der beiden weichselfrühglazialen Interstadiale (Brörup oder Odderade) wegen ihrer isolierten Position unklar (oberflächennahe Vorkommen, aufgrund fehlender Abbohrung kein Bezug zu eventuell unterlagerndem Eem bzw. Probenabstands-bedingter fehlender Kontakt). Nur in drei der das Weichselfrühglazial höher auflösenden Profile (Kittlitz 2/59 und 3/59, Erd 1968, 1973, Borgisdorf 1/06, Strahl 2008d) lassen sich beide Interstadiale mit Sicherheit belegen, alle übrigen gegliederten Folgen reichen nur bis in das Brörup bzw. in das nachfolgende Rederstall-Stadial.
Generell bricht für Berlin und Brandenburg die pollenanalytisch nachvollziehbare weichselzeitliche Entwicklung mit

dem Übergang in das Mittlere Weichsel (Schalkholz-Stadial) ab. Jüngere, mittelweichselzeitliche Interstadiale, namentlich das Saßnitz- und das Kerkwitz-Interstadial (CEPEK 1972) sind ebenso wenig wie die geochronometrisch datierte und vermutlich in das Denekamp gehörende Lemming-Fundschicht aus dem Rixdorfer Horizont von Niederlehme (HERMSDORF 2002, HEINRICH & HERMSDORF 2003) verifiziert.

Die Untersuchungsergebnisse zur weichselfrühglazialen Sequenz der Bohrung Oehna 37/87 (STRAHL 2008c) veranlassten zur Abteufung der KB Borgisdorf 1/06 (Abb. 7, Beispielpollendiagramm Weichselfrühglazial). Diese sollte neben einer Abklärung des vermuteten Soll-Charakters der Vielzahl von Hohlformen im Fläming insbesondere das Weichselfrühglazial hochauflösend zu erfassen. An dieser Stelle sei auf die häufig genutzten, teilweise in ihren verwendeten Kürzeln nahezu gleichlautenden, inhaltlich aber extrem differierenden Gliederungen des Weichselfrühglazials von ERD (1973) und MENKE & TYNNI (1984) verwiesen, die in Tab. 4 vergleichend neben der neu für Brandenburg eingeführten gegenüber gestellt werden. Da die Zonierung von MENKE & TYNNI (1984) durch die Subkommission Quartär (LITT 2007) inzwischen weitestgehend übernommen und damit mehr oder weniger als verbindlich anzusehen ist, werden diese auch für die vorliegende Arbeit genutzt. Abweichend zu MENKE & TYNNI (1984) wird jedoch die PZ WF V folgerichtig, da es sich hier bereits um das erste Stadial des Weichselhoch- bzw. -pleniglazials, also den Beginn des Mittelweichsels handelt, durch das in LITT (2007) empfohlene Kürzel WP für Weichselpleniglazial inklusive der entsprechenden römischen Bezifferung mit I ersetzt (vgl. Tab. 4).

der Nichtbaumpollen ($\sum$ NAP) und häufig auch lithologisch durch den Sedimentationswechsel von Detritus- zu Silikat- bzw. an klastischen Bestandteilen reichen Kalk- oder Schluffmudden scharf markiert. Der Anstieg der NAP geht dabei vor allem auf lichtliebende Kräuter, insbesondere Süßgräser und Beifuß (Mineralbodenzeiger) zurück, so dass von einer echten Waldöffnung infolge Klimaverschlechterung auszugehen ist. Ausdruck der sich seit dem ausgehenden Eem-Interglazial fortsetzenden Bodenversauerung sind dementsprechend immer noch hohe Werte bei Heidekraut und Torfmoosen. Insbesondere das Heidekraut klingt im höheren Herning (PZ W Ic im Sinne von ERD 1973) aus, hier ist in der Niederlausitz ein offensichtlich charakteristischer Maximalausschlag der Wacholder-Kurve zu verzeichnen, während im Fläming die Kurven von Süßgräsern und Beifuß kulminieren (einschränkend ist auf die schlechte Pollenerhaltung innerhalb der zu diesem Zeitpunkt sedimentierten Tonmudden in Borgisdorf hinzuweisen). Weitere wichtige, in ihren prozentualen Anteilen schwankende Elemente waren Gänsefuß- und Nelkengewächse, hier u. a. Gipskraut, Ampfer (*Rumex acetosella*-Typ), Wegerich, verschiedene Korbblütler sowie Knöterich (*Polygonum bistorta-viviparum*-Typ).

Die Kiefern- und Birkenbewaldung löste sich im Verlauf des Stadials immer weiter auf. Nachgewiesene thermophile Gehölze, wie Hainbuche, Hasel und Eiche gehen mit großer Sicherheit auf aufgearbeitete eemzeitliche Ablagerungen zurück. Die im unteren Teil des Herning (PZ W Ia sensu ERD 1973) noch höheren Erlen- und eventuell auch die Fichtenanteile könnten jedoch autochthonen Ursprungs sein.

So sind bezüglich einer möglichen weiteren Untergliede-

Tab. 4

Gliederung des Weichselfrühglazials (Unteres Weichsel) und des beginnenden Weichselpleniglazials (Mittleres Weichsel) in der Niederlausitz und in Nordwestdeutschland sowie neu für Brandenburg

Tab. 4

Subdivision of the Early Weichselian and the beginning of the Middle Weichselian in Lower Lusatia and Northwest Germany as well as new for the Berlin-Brandenburg area

Stadial (S)/ Interstadial (IS)	Pollenzonierung		
	Niederlausitz (ERD 1973)	Nordwestdeutschland (MENKE & TYNNI 1984)	neu Brandenburg
Schalkholz-Stadial	PZ W VII	WF V	WP I
Odderade-IS	PZ W VIa-b	WF IVa-b	WF IV
Rederstall-Stadial	PZ W Va-b	PZ WF III	PZ WF III
Brörup-Interstadial	PZ W IVa-b	WF IIa3-b2 (Brörup IS s. str.)	WF IIc
	PZ W III (Stadial)	WF IIa2 (Stadial)	WF IIb (Stadial)
	PZ W IIa	WF IIa1 (Amersfoort IS)	WF IIa
Herning-Stadial	PZ W Ia-c	PZ WF I	WF I

PZ WF I, Herning-Stadial

Die Grenze zwischen dem Eem-Interglazial und dem beginnenden Weichselfrühglazial ist in den zum Vergleich herangezogenen, diesbezüglich lückenlosen Pollendiagrammen der Profile Kittlitz, Willmersdorf, Jocksdorf 29/86 und Borgisdorf (Abb. 7) durch den Steilanstieg der Gesamtsumme

rung des Herning-Stadials in die Subzonen a-c sensu ERD (1973) durchaus die Subzone a mit höheren Werten bei Kiefer und Erle und die Subzone b mit höheren Beifuß-Anteilen erkennbar. Die Subzone c mit erhöhten bzw. sehr hohen Wacholder-Werten bei stetig fallenden Birken- und Kiefern-Anteilen wäre momentan mit Sicherheit aus den

oben genannten Gründen nur für das Gebiet der Niederlausitz nachzuvollziehen.
Für das Jungmoränengebiet nördlich des Flämings und der Niederlausitz sind dagegen häufig keine natürlichen Sukzessionen, sondern umgelagerte Sporomorphen aus dem Präquartär und vor allem aus dem Eem-Interglazial selbst typisch, so das meistenteils keine sichere Zuordnung zum Herning-Stadial möglich ist (Kennzeichnung als PZ WF x). Kühl et al. (2007) postulieren für das Herning-Stadial im mitteldeutschen Raum relativ kontinentale Bedingungen mit einem Absinken der mittleren Juli-Temperatur um ca. 3°C auf rund 15°C und einem Rückgang der jährlichen Niederschlagsmengen um ca. 200 mm gegenüber dem Eem-Interglazial, eine anhand der sich verändernden Vegetationszusammensetzung, insbesondere in der Niederlausitz hin zu an Beifuß und Wacholder reichen Gesellschaften durchaus nachvollziehbare Entwicklung.

PZ WF II - Brörup-Interstadial

Das Brörup-Interstadial stellt auch in Berlin und Brandenburg das erste Interstadial des Weichselfrühglazials dar und lässt in ausreichend dicht untersuchten Profilen (neben Kittlitz, Jocksdorf, Willmersdorf und Borgisdorf u. a. auch Rehnsdorf und Bohrung Oehna 37/87, Strahl 2008c) eine eindeutige Dreiteilung (Tab. 4) in seinem Verlauf erkennen: Mit einem meistenteils nur kurzfristigen Anstieg der Birken-Kurve und dem Rückgang des Kräuteranteils (Abb. 7) zeichnet sich die Einstellung interstadialer Bedingungen an den Standorten ab (PZ WF IIa). Eine häufig nur sehr kurze Phase mit Birken-Dominanz (Ausnahme u. a. Rehnsdorf) wird alsbald durch die rasche Wiederausbreitung der Kiefer beendet. Häufiger erschienen lediglich noch die Erle, die Fichte und je nach Profillage mit stark variierenden Pollenfrequenzen auch schon die Lärche (*Larix*). Diese ist im Gegensatz zu Kittlitz und Jocksdorf in Willmersdorf und Borgisdorf nur sehr spärlich belegt, ebenso wie die Fichte, die jedoch bereits von Beginn an Kurvenschluss aufweist. Hinsichtlich der Problematik fehlender frühweichselzeitlicher Lärchenanteile sei auf Behre (1974) verwiesen, wonach möglicherweise nicht von einem generellen Fehlen der Lärche an den beiden letzteren Untersuchungspunkten, sondern nur in deren unmittelbarer Standortumgebung auszugehen ist. Da die Lärche ein schlechter Pollenproduzent ist, erscheint das lichtliebende Nadelgehölz in entsprechenden Pollenspektren generell unterrepräsentiert. Deshalb ist aufgrund der in Kittlitz und Jocksdorf insbesondere im höheren Brörup (PZ WF IIc) ermittelten, z. T. deutlich über 1% liegenden Pollenfrequenzen von einer sicheren lokalen Präsenz auszugehen. Die Lärche ist heute in Mitteleuropa natürlich nur in den Alpen und in den östlichen Sudeten verbreitet, wobei sie sich ausgesprochen bodenvag verhält, jedoch besonders gut auf basenreichen Lehm- und Tonböden gedeiht. Bevorzugt werden aber vor allem kontinentale Bedingungen, d. h. ein sommerwarmes und lufttrockenes Klima, während im Winter Starkfröste gut ertragen werden (Ellenberg 1996). Da sie ein Rohboden-Keimer ist, muss bezüglich ihres hier festgestellten Auftretens von einem Fehlen bzw. einer nur sehr dünnen Humusbedeckung der Böden in der Standortumgebung ausgegangen werden. Daraus ist des Weiteren zu schließen, dass sich ihre Ausbreitung außerhalb der Montanregionen nur auf die Früh- (Pionier-) bzw. Spätphasen von Interglazialen oder auf Interstadiale beschränken kann, in denen entsprechende, für die Keimung ausreichende aber nicht zu feuchte Bodenbedingungen vorlagen und vermutlich außerdem kein Konkurrenzdruck anderer Arten zu erwarten war.
Während Behre (1974) im Vergleich mit den Gebieten Nordrusslands und Westsibiriens die Ausbreitung der Lärche im weichselzeitlichen Brörup-Interstadial Nordwestdeutschlands als Ausdruck herrschender kontinentaler Klimabedingungen deutet, sieht Menke (1980) darin eher ein verbreitungsgeschichtliches Problem. Es wird die Auffassung vertreten, dass nur während des Brörups aufgrund der günstiger gewordenen Konkurrenzbedingungen eine leichtere Ausbreitung der Lärche aus ihren eemzeitlichen Verbreitungsgebieten heraus möglich war. Ein ähnliches Verhalten wurde für den Beginn und das Ende ältestquartärer Warmzeiten festgestellt, für die es laut Menke (1975, 1980) keinen Hinweis auf kontinentale Klimabedingungen gibt.
Die NAP-Anteile liegen gegenüber dem Eem-Interglazial zwar höher, sind aber erheblich niedriger als im vorher gehenden Stadial. Hauptpollenlieferanten der insgesamt artenärmer gewordenen, lichtanspruchsvollen Kräuterflora sind wie zuvor Süßgräser und Beifuß neben seltener verschiedenen Korbblütlern, Wegerich, sehr wenig Heidekraut und auch thermophile Elemente, wie das Mädesüß (*Filipendula*).
Die Kiefern-Phase des unteren Teils des Brörups wird durch einen kurzfristigen NAP-Vorstoß unterbrochen, hervorgerufen vor allem durch Süßgräser, Beifuß, Wegerich und Nelkengewächse, der mit dem Stadial WF IIb in Zusammenhang gebracht wird. Eine völlige Entwaldung scheint dabei nicht stattgefunden zu haben, da das Ereignis insgesamt wohl zu kurzfristig war und die Prozentwerte der Kiefer anschließend sofort wieder in die Höhe schnellen, so dass eine größere Entfernung der Standorte von der Waldgrenze während des Stadials unwahrscheinlich ist.
Der höhere Teil des Brörups, das Brörup s. str. (PZ WF IIc), zeigt neben einer ausgesprochenen Kiefern-Dominanz geringere Birken- und auch Erlen-Anteile, die Fichte bleibt dagegen in ihren Werten nahezu unverändert. In der Niederlausitz (Kittlitz, Jocksdorf) erreicht die Lärche ihre insgesamt höchsten Werte. Thermophile Gehölze erscheinen so gut wie gar nicht mehr. Da die Prozentwerte der Kiefer ähnlich hoch wie im ausgehenden Eem-Interglazial (PZ 9) sein können, kann im Falle von Einzelproben oder isolierter Profillage (s. o.) bei fehlender ausgeprägter Lärchen-Beteiligung oft keine klare Festlegung der stratigraphischen Zugehörigkeit zum Eem oder zum Brörup getroffen werden. Ähnliches trifft bei isolierter Lage von Stadial-Interstadial-Folgen zu, bei denen letztendlich keine eindeutige Stratifizierung in das Brörup oder das Odderade möglich ist.
Die vorgestellte Dreiteilung des Brörup-Interstadials fehlt in den meisten Profilen Berlin-Brandenburgs primär wohl aufgrund der zu groß gewählten Probenabstände, lässt sich aber bezüglich der Untersuchungen von Kuszell et al. (2007)

nach Osten bis in das Schlesische Tiefland tatsächlich nicht verfolgen. Hier ist das Brörup lediglich durch eine Birken-Kiefern- und anschließende Kiefern-Phase repräsentiert, ein klimatischer Rückschlag innerhalb des Interstadials wurde nicht erfasst.
In einer Vielzahl der Profile, insbesondere im Bereich des Südlichen Landrückens, bricht die pollenanalytisch nachvollziehbare Entwicklung in diesem Abschnitt bzw. im Übergang in das nachfolgende Rederstall-Stadial (PZ WF III) ab. In den wenigsten Fällen ist die Ursache in der Vertorfung der Hohlformen (z. B. Wolkenberg) zu suchen und damit auf ihre endgültige Verfüllung zu schließen, meistenteils dürfte die fehlende Beprobung Ursache der Absenz jüngerer Schichtglieder des Weichselfrühglazials sein.

PZ WF III, Rederstall-Stadial
Die sich anschließende, wieder kalte Phase (PZ WF III, Abb. 7) fällt durch ihre sehr stark ansteigenden NAP-Werte, insbesondere durch die Ausbreitung von Beifuß und Süßgräsern ausgelöst, ins Auge. Der Beifuß erreicht in diesem Abschnitt exemplarisch in Borgisdorf Pollenfrequenzen von mehr als 30%. Innerhalb der verbliebenen Gehölzflora, nach wie vor hauptsächlich durch die Kiefer und nur noch durch wenig Birke bestimmt, erscheinen erneut, allerdings auf sekundärer Lagerstätte befindlich, thermophile Gehölze. Dies verweist neben den extrem angestiegenen Kräuteranteilen, des Zunehmens präquartärer Sporomorphen und der Umstellung auf die Akkumulation von Ton- bzw. Kalk- und Schluffmudden mit hohen klastischen Anteilen (z. T. Sandlagen) auf eine Auflösung der Vegetationsdecke, insbesondere hervorgerufen durch die klimabedingt ablaufende Entwaldung. So vermuten KÜHL et al. (2007) gegenüber dem Herning-Stadial eine weitere Herabsetzung der mittleren Juli-Temperatur um 2°C.

PZ WF IV, Odderade-Interstadial
In den relevanten Pollendiagrammen Berlin-Brandenburgs zeigt sich mit der Wiederausbreitung der Birke und nachfolgend der Kiefer eine letztmalige Klimabesserung (PZ WF IV). Die Lärche und vor allem die Fichte erscheinen im Unterschied zum vorhergehenden Interstadial nur noch in Spuren. Damit ist zumindest für die Fichte eine lokale Anwesenheit vor Ort auszuschließen. Die feinklastische Sedimentation stellt sich in Borgisdorf nochmals auf die Akkumulation von Schluffmudde um und mündet erst während der Kiefern-reichen Phase des Odderade-Interstadials im Aufwachsen eines geringmächtigen Torfs.

3. 4 Weichselhochglazial, PZ WP I, Schalkholz-Stadial

Den Abschluss der pollenanalytisch verfolgbaren weichselglazialen Entwicklung in Berlin-Brandenburg bilden in den entsprechenden Profilen Ablagerungen des beginnenden Weichselhochglazials (PZ WP I, Abb. 7). Die neben Beifuß und verschiedenen Hahnenfußgewächsen insbesondere an Süßgräsern reichen Pollenspektren in den Bohrungen Kittlitz und Borgisdorf deuten bei gleichzeitig minimalen Gehölzpollenanteilen auf eine völlige Waldfreiheit der Landschaft in diesem Zeitraum hin. Ähnliche Verhältnisse sind für den Raum Potzlow in der Uckermark (ERD 1978, STRAHL 2006e) ablesbar, ohne das dort über weichselfrühglazial resedimentiertem Eem erfasste Stadial mit Sicherheit dem Schalkholz-Stadial wegen des Fehlens der vorangegangenen Schichtglieder zuordnen zu können.
Über die nachfolgenden Abschnitte des Weichselglazials kann sowohl zum Alter als auch zur Vegetationsentwicklung aufgrund der bereits vorab angeführten fehlenden Proben in den Profilen bzw. der Pollensterilität keine Aussage getroffen werden.

Zusammenfassung

Die Karte der Eem-Vorkommen beinhaltet den aktuellen Kenntnisstand über die Verbreitung Eem-interglazialer Ablagerungen im Land Brandenburg einschließlich des Stadtgebietes von Berlin.
Erfasst sind bisher 566 Eem-Fundpunkte, wovon 188 pollenanalytisch datiert und damit als gesichert anzusehen sind.
Die Karte reflektiert sowohl echte, geologisch bedingte als auch vom Untersuchungsstand abhängige Verteilungsmuster in der Verbreitung saalespätglazialer bis eeminterglazialer und vor allem weichselfrühglazialer Sedimente.
In einer Zusammenschau von 35 ausgewählten, vollständigen bzw. in bestimmten Abschnitten besonders hochauflösenden Profilen werden Besonderheiten der klimatischen und vegetationsgeschichtlichen Entwicklung Berlin-Brandenburgs im Saalespätglazial, Eem-Interglazial und Weichselfrühglazial dargestellt.

Summary

The map of Eemian deposits includes the current state of knowledge concerning the distribution of Eemian sediments in the Berlin-Brandenburg area encompassed 566 profiles, whereof 188 dated by pollen analysis.
The map is reflecting real geological means as well as patterns of distribution of sediments of Late Saalian, Eemian and Early Weichselian regulated by the grade of investigation.
Special features of climatic development and the vegetation history of the Late Saalian, the Eemian and the Early Weichselian in the Berlin-Brandenburg area described on the basis of 35 selected pollen diagrams.

Danksagung

Für die große Unterstützung bezüglich der Bereitstellung der Koordinaten zu den zahlreichen Eem-Fundpunkten in Berlin und der Niederlausitz sowie der Überlassung von Unterlagen sei Herrn Dipl.-Geol. A. Limberg und Frau U. Hörmann (Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz Berlin), Herrn Dr. A. Brande (TU Berlin) und Herrn Dipl.-Geol. R. Kühner (Vattenfall Europe Mining AG) herzlich gedankt.

Ebenso herzlich danken wir Herrn Dipl.-Geol. L. Lippstreu (Berlin) für die kritische Durchsicht des Manuskriptes und die diesbezüglichen hilfreichen Hinweise und Herrn Dipl.-Geol. J.-U. Schmidt (LBGR) für die technische Umsetzung der Karte.

Literatur

Behre, K.-E. (1974): Die Vegetation im Spätpleistozän von Osterwanna/Niedersachsen. - Geol. Jb. **A18**, S. 3-48, Hannover

Benda, L. (Hrsg.) (1995): Das Quartär Deutschlands. - S. 95-115, Berlin, (Gebr. Bornträger)

Bińka, K. & J. Nitychoruk (2003): The Late Saalian, Eemian and Early Vistulian pollen sequence at Dziewule, eastern Poland. - Geological Quarterly **47**, 2, S. 155-168, Warszawa

Böse, M. (1989): Methodisch-stratigraphische Studien und paläomorphologische Untersuchungen zum Pleistozän südlich der Ostsee. - Berliner Geographische Abhandlungen **51**, S. 32-39, Berlin

Böse, M. & A. Brande (1979): Zum Pleistozän der Platten des Brandenburgischen Jungmoränengebietes. - Catena **6**, S. 183-202, Braunschweig

Böse, M. & A. Brande (1992): Vom Geotop zum Biotop – die Sandgrube im Grunewald, Jagen 85/86. - Berliner Naturschutzblätter **36**, 3, S. 121-128, Berlin

Boettger, T., Junge, F. W. & T. Litt (2000): Stable climatic conditions in central Germany during the last interglacial. - Journal of Quaternary Science **15**, 5, S. 469-473, New York (Wiley)

Brande, A. (1980): Pollenanalytische Untersuchungen im Spätglazial und Postglazial Berlins. - Verh. Bot. Ver. Prov. Brandenburg **115**, S. 21-72, Berlin

Brauer, A., Allen, J. R. M., Mingram, J., Dulski, P., Wulf, S. & B. Huntley (2007): Evidence for Last Interglacial chronology and environmental change from Southern Europe. - Proceedings of the National Academy of Science **104**, S. 450-455, Washingston

Brose, F., Luckert, J., Müller, H., Schulz, R., Strahl, J. & H. U. Thieke (2006): Das Eem von Vevais – ein bedeutendes Geotop in Ostbrandenburg. - Brandenburg. geowiss. Beitr. **13**, 1/2, S. 155-164, Kleinmachnow

Caspers, G. (1997): Die eem- und weichselzeitliche Hohlform von Groß Todtshorn (Kr. Harburg; Niedersachsen). - Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft **4**, S. 7-59, Hannover

Cepek, A. G. (1972): Zum Stand der Weichselkaltzeit in der DDR. - Wiss. Zeitschr. Ernst-Moritz-Arndt-Universität **21**, Math.-Nat. R. 1, S. 11-21, Greifswald

Cepek, A. G., Hellwig, D. & W. Nowel (1994): Zur Gliederung des Saale-Komplexes im Niederlausitzer Braunkohlenrevier. - Brandenburg. geowiss. Beitr. **1**, 1, S. 43-83, Kleinmachnow

Degering, D. & M. R. Krebetschek (2007): Lumineszenzdatierungen an limnischen Sedimenten von Klinge/Niederlausitz. - Natur und Landschaft in der Niederlausitz **24**, S. 120-128, Cottbus

Demidova, S. & G. Khursevich (2007): Ergebnisse der Diatomeenanalyse im Profil Klinge. - Natur und Landschaft in der Niederlausitz **24**, S. 166-172, Cottbus

Ellenberg, H. (1979): Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. - Scripta Geobotanica **IX**, 122 S., Göttingen (E. Goltze KG)

Ellenberg, H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. - 1095 S., Stuttgart (Eugen Ulmer)

Erd, K. (1960): Das Eem-Interglazial von Kerkwitz-Atterwasch bei Guben. - Wissenschaftliche Zeitschrift der Pädagogischen Hochschule Potsdam, Math.-Nat. Reihe **6**, 1/2, S. 107-118, Potsdam

Erd, K. (1960a): Eem-interglaziale Pollendiagramme aus Südost-Brandenburg. - Berichte der Geologischen Gesellschaft **5**, 4, S. 344-345, Berlin

Erd, K. (1960b): Die bisherige botanische Erforschung des Jungpleistozäns in Brandenburg – Beiträge zur Flora und Vegetation Brandenburgs 26. - Wissenschaftliche Zeitschrift der Pädagogischen Hochschule Potsdam, Math.-Nat. Reihe **6**, 1/2, S. 69-82, Potsdam

Erd, K. (1964): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung von Proben aus Baugrundbohrungen des Chemiefaserwerkes Guben. - Bericht ZGI Berlin (Archiv-Nr. 2015250), Berlin (unveröff.)

Erd, K. (1964a): Pollenanalytische Untersuchung von Bohrprofilen aus dem Bereich des Messtischblattes Grunow (3852) und angrenzender Messtischblätter. - Bericht ZGI Berlin vom 01.10.1964, (Archiv-Nr. 2015251), Berlin (unveröff.)

Erd, K. (1967): Eem-Warmzeit und Frühweichsel-Kaltzeit im Richtprofil Kittlitz bei Lübbenau (Niederlausitz). - Kurzrefer. u. Exk.-führer 7. Treffen Sekt. Quartärgeologie, DGGW in Berlin: Quartärforschung und angewandte Geologie in Brandenburg, S. 12-13, Berlin

ERD, K. (1967a): Pollenanalytische Untersuchung des Eem-Interglazials aus der Kartierungsbohrung Oderin 2/62. - Bericht ZGI Berlin vom 17.04.1967, (Archiv-Nr. 800007), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1968): Eem-Warmzeit und Frühweichsel-Kaltzeit im Richtprofil der Bohrung Kittlitz 3/59. - Bericht ZGI Berlin vom 17.07.1968, (Archiv-Nr. 100046), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1968a): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung einer Probe aus der Bohrung 2/65 des hydrogeologischen Objekts Gransee-Zehdenick 1965. - Bericht ZGI Berlin vom 22.10.1968, (Archiv-Nr. 2023798), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1968b): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung verschiedener Aufschlüsse aus dem Stadtgebiet von Cottbus. - Bericht ZGI Berlin vom 15.12.1968, Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1969): Pollenanalytische Untersuchung der Bohrung 4/68 des hydrogeologischen Objektes Friesack 1968. - Bericht ZGI Berlin vom 19.06.1969, (Archiv-Nr. 2023799), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1969a): Pollenanalytische Untersuchung der Bohrung 3/69 des hydrogeologischen Objektes Lieberose. - Bericht ZGI Berlin vom 02.12.1969, (Archiv-Nr. 2023802), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1970): Vegetationsentwicklung vom Saale-Spätglazial bis zum Weichsel-Frühglazial am Beispiel des Profils Kittlitz, Niederlausitz, DDR. - In: Probleme der weichsel-spätglazialen Vegetationsentwicklung in Mittel- und Nordeuropa. - Tagungsband Gesellschaft Geologische Wissenschaften 1970, S. 26-28, Frankfurt (Oder)

ERD, K. (1973): Pollenanalytische Gliederung des Pleistozäns der Deutschen Demokratischen Republik. - Z. geol. Wiss. **1**, S. 1087-1103, Berlin

ERD, K. (1973a): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrung Flachlandspeicher Görzke 15/72. - Bericht ZGI Berlin vom 16.02.1973, (Archiv-Nr. 2023833), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1973b): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der WWD-Bohrung „Jenner“ 4/71. - Bericht ZGI Berlin vom 23.03.1973, (Archiv-Nr. 2023834), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1973c): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrungen Bornim P1/72 und P2/72. - Bericht ZGI Berlin vom 21.05.1973, (Archiv-Nr. 1007764), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1973d): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrung Hy Heckelberg 1/72. - Bericht ZGI Berlin vom 17.05.1973, (Archiv-Nr.: 2019226, 100421), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1975): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrung Hy Baek 2/74. - Bericht ZGI Berlin vom 10.04.1975, (Archiv-Nr. 2017071), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1975a): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der WWD-Bohrung Nuthe 74/71 (Oehna). - Bericht ZGI Berlin vom 29.12.1975, (Archiv-Nr. 2017365), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1976): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung von Proben aus dem Raum Pritzwalk: Pritzwalk-Schlachthof 1/75 (1), Meliorationsgraben bei Buchholz (2), W Heidelberg 1/75 (3). - Bericht ZGI Berlin vom 10.05.1976, (Archiv-Nr. 2017522), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1976a): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Baugrundbohrungen Berlin-Biesdorf-Marzahn 2044 und 2046/76. - Bericht ZGI Berlin vom 06.09.1976, (Archiv-Nr. 2017958), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1978): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrung Hy Potzlow 1/73. - Bericht ZGI Berlin vom 26.05.1978, (Archiv-Nr. 2018360), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1979): Bericht über die pollenanalytischen Untersuchungen der Bohrungen 187 und 189 des hydrogeologischen Objektes Spreenhagen. - Bericht ZGI Berlin vom 18.02.1979, (Archiv-Nr. 2018745), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1978): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrung Hy Potzlow 1/73. - Bericht ZGI Berlin vom 26.05.1978, (Archiv-Nr. 2018360), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1979a): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung eines Profils aus der Baugrube Eisenbahneinschnitt Lug 1966. - Bericht ZGI Berlin vom 29.03.1979, (Archiv-Nr. 2018826), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1979b): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrung Hy Seilershof 1/77. - Bericht ZGI Berlin vom 07.05.1979, (Archiv-Nr. 100533, 2018886), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1979c): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrung Pritzwalk ACZ 8/77 und 1/78. - Bericht ZGI Berlin vom 20.08.1979, (Archiv-Nr. 2019120), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1979d): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrungen Baugrund 7 und 9/78/2300 bei Papenbruch. - Bericht ZGI Berlin vom 28.08.1979, (Archiv-Nr. 2019131), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1980): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrungen Hy Luhme 22/72, IG Zech-

lin-Flecken 8, 9, 10, 11, 12, 14/72 und Hy Rheinsberg 57/72. - Bericht ZGI Berlin vom 15.01.1980, (Archiv-Nr. 2019349), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1983): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrung Hy Rathenow 4/68. - Bericht ZGI Berlin vom 09.08.1983, (Archiv-Nr. 2021175), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1983a): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung einer Probe aus dem Aufschluss Schwanebeck 1973 (Belziger Bach). - Bericht ZGI Berlin vom 18.10.1983, (Archiv-Nr. 2021222), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1983b): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrung Pegel Schlaatz 1982. - Bericht ZGI Berlin vom 19.10.1983, (Archiv-Nr. 2021220), Berlin (unveröff.)

ERD, K. & I. FISCHER (1983): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrungen Jakobsdorf 7/77 und 15/77. - Bericht ZGI Berlin vom 28.02.1983, (Archiv-Nr. 2020965), Berlin (unveröff.)

ERD, K. & I. FISCHER (1983a): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrung Hy Neu Golm 1/74. - Bericht ZGI Berlin vom 05.07.1983, (Archiv-Nr. 100233), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1984): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrung Tauer (Sportplatz) 1974. - Bericht ZGI Berlin vom 09.05.1984, (Archiv-Nr. 2021426), Berlin

ERD, K. (1984a): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrung Gr. Bademeusel 19/59. - Bericht ZGI Berlin vom 11.05.1984, (Archiv-Nr. 2021427), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1984b): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der WWD-Bohrung Stahnsdorf 1/72. - Bericht ZGI Berlin vom 14.05.1984, (Archiv-Nr. 2021424), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1984c): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der WWD-Bohrung Kleinmachnow 1/72. - Bericht ZGI Berlin vom 15.05.1984, (Archiv-Nr. 2021425), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1984d): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrungen Jänschwalde S 5587 und 5497/83. - Bericht ZGI Berlin vom 13.12.1984, (Archiv-Nr. 2021660), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1986): Vegetationsentwicklung im Eem-Interglazial von Schönfeld. Paläobotanische Ergebnisse aus dem Eem-Interglazial von Klinge. - Kurzref. u. Exkurs.-Führer „25 Jahre AK Quartärgeologie der GGW“, S. 29- 30, Berlin

ERD, K. (1987): Die Uecker-Warmzeit von Röpersdorf bei Prenzlau als neuer Interglazialtyp im Saale-Komplex der DDR. - Z. geol. Wiss. **15**, S. 297-313, Berlin

ERD, K. (1987a): Bericht Nr. 86/87 – Kurzmitteilung zur pollenanalytischen Einstufung der Bohrungen Görzke 5a, 5A, 9, 12b/87 und Oehna 19, 24, 25, 27, 30, 35, 37/87 (Höffigkeitseinschätzung). - Bericht ZGI Berlin vom 02.12.1987 (Archiv-Nr. 1004480), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1988a): Pollenanalytische Untersuchung der Bohrungen Hy Potsdam 105, 110, 111 und 115/88. - Bericht ZGI Berlin vom 23.09.1988, (Archiv-Nr. 1007422), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1988b): Bericht Nr. 90/88 – Kurzmitteilung zur pollenanalytischen Einstufung der Bohrungen KIG Trebendorf 2 und 3/88. - Bericht ZGI Berlin vom 09.12.1988, Anlage 3. - In: CEPEK, A. G. (1988): Höffigkeitseinschätzung Kieselgur Trebendorf, Nedlitz, Rottstock. - Bericht ZGI Berlin vom 15.12.1988, (Archiv-Nr. 2024092), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1989): Bericht Nr. 8/89 – Pollenanalytische Einstufung der Bohrungen Kig Rottstock 1 und 3/88. - Unveröff. Bericht ZGI Berlin vom 03.04.1989, Anlage 15. - In: CEPEK, A. G. (1989): Abschlussbericht Höffigkeitseinschätzung Kieselgur III (Altmark, Rottstock). - Bericht ZGI Berlin vom 05.07.1989 (Archiv-Nr. 1004686), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1989a): Bericht Nr. 10/89 – Pollenanalytische Einstufung der Bohrungen Kig Rottstock 5, 8 und 10/88. - Bericht ZGI Berlin vom 09.05.1989, Anlage 16. - In: CEPEK, A. G. (1989): Abschlußbericht Höffigkeitseinschätzung Kieselgur III (Altmark, Rottstock). - Bericht ZGI Berlin vom 05.07.1989 (Archiv-Nr. 1004686), Berlin (unveröff.)

ERD, K. (1991): Vegetationsentwicklung und Pollenanalyse im Eem-Interglazial und Weichsel-Frühglazial von Schönfeld, Kr. Calau. - Natur und Landschaft in der Niederlausitz, Sonderheft, S. 71-81, Cottbus

ERD, K. (1992): Bericht zur pollenanalytischen Einstufung eines Quartärprofils aus dem Tagebau Cottbus-Nord 1989. - Bericht LGRB Kleinmachnow vom 28.08.1992, (Archiv-Nr. 1007295), Kleinmachnow (unveröff.)

ERD, K. (1994): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung einer Probe aus einer Sandgrube am Weinberg östlich Groß Schulzendorf. - Bericht LGRB vom 16.02.1994, (Archiv-Nr. 1007282), Kleinmachnow (unveröff.)

ERD, K. (1997): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung einer Einzelprobe aus der Bohrung Deponie Schwanebeck 7/96. - Bericht LGRB vom 23.07.1997, (Archiv-Nr. 1007269), Kleinmachnow (unveröff.)

ERD, K. (1997a): Bericht über die Pollenanalysen aus dem Eem-Interglazial der Bohrung Kleinmachnow 1/96. - Bericht LGRB Kleinmachnow vom 03.09.1997, (Archiv-Nr. 1007268), Kleinmachnow (unveröff.)

ERD, K. (1997b): Pollenanalytische Kurzeinstufung der Bohrung Hy 301/97 = B 46 (Potsdam, Lange Brücke, ca. 50 m vom südlichen Havelufer, TB, Mbl. 3644, 35,5 – 36,5 m, Schluffmudde, schwarzbraun, kalkhaltig). - Bericht LGRB Kleinmachnow vom 17.09.1997, (Archiv-Nr. 1007291), Kleinmachnow (unveröff.)

ERD, K. (1997c): Pollenanalytische Kurzeinstufung der Handbohrung 469 des Objektes L 2839 (Pritzwalk), Torfmudde aus dem Teich gehoben (Grobdetritusgyttja; schwarzbraun). - Bericht LGRB vom 14.10.1997, (Archiv-Nr. 1007263), Kleinmachnow (unveröff.)

ERD, K. & J. STRAHL (2007): Abbruchbericht zur pollenanalytischen Bearbeitung der Bohrung Ladeburg 1E/61 (Land Brandenburg). - Bericht LBGR vom 28.02.2007 (Archiv-Nr. 1007620), Kleinmachnow (unveröff.)

ERD, K. & J. STRAHL (2008): Abbruchbericht zur pollenanalytischen Bearbeitung der Bohrung Kt 8250/89 Willmersdorf (Brk Sla 8250/89), Land Brandenburg. - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 31.01.2008 (Archiv-Nr. 1007759), Kleinmachnow (unveröff.)

ERD, K. & J. STRAHL (2008a): Abbruchbericht zur pollenanalytischen Bearbeitung der Bohrung Kt 7847 ZA Bathow (Brk Sla 7847 ZA/88), Land Brandenburg. - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 11.02.2008 (Archiv-Nr. 1007760), Kleinmachnow (unveröff.)

ERD, K. & J. STRAHL (2008b): Abbruchbericht zur pollenanalytischen Bearbeitung der Bohrung Kt 8778Z/88 Gräbendorf-Reddern (Brk Gäd 8778Z/88), Land Brandenburg. - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 11.02.2008 (Archiv-Nr. 1007761), Kleinmachnow (unveröff.)

FREUND, H. & G. CASPERS (1997): Eem-Interglazial und Weichsel-Frühglazial – palynologische Untersuchungen im Dell-Grund bei Wittenmoor in der Altmark (Kr. Stendal; Sachsen-Anhalt). - Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft **4**, S. 175-186, Hannover

FREUND, H., MEYER, K. J., CASPERS, G. & H. C. HÖFLE (1997): Pollenstratigraphische Untersuchungen zum Eem-Interglazial und Brørup-Interstadial von Barendorf (Kr. Lüneburg; Niedersachsen). - Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft **4**, S. 157-174, Hannover

FREUND, H. (2000): Die Bohrung Rathenow (Landkreis Havelland, Brandenburg) – eine Abfolge limnischer Sedimente vom Saale-Spätglazial, Eem-Interglazial bis in das Weichselfrühglazial. - Brandenburg. geowiss. Beitr. **7**, 1/2, S. 151-159, Kleinmachnow

GAGEL, C. (1913): Die Beweise für eine mehrfache Vereisung Norddeutschlands in diluvialer Zeit. - Geol. Rundschau **4**, S. 319-591, Berlin

GODET, J.-D. (1994): Bäume und Sträucher. Einheimische und eingeführte Baum- und Straucharten. - Godet Pflanzenführer, 216 S., Augsburg (Naturbuch Verlag)

HERMSDORF, N. (2002): Neue Daten zur Altersstellung des Rixdorfer Horizontes von Niederlehme. - Brandenburg. geowiss. Beitr. **9**, 1/2, S. 44, Kleinmachnow

HEINRICH, W.-D- & N. HERMSDORF (2003): *Lemmus lemmus* (LINNAEUS, 1758) und *Dicrostonyx gulielmi* (SANDFORD, 1870) (Mammalia, Rodentia) aus dem weichselzeitlichen Rixdorfer Horizont von Niederlehme bei Königs Wusterhausen in Brandenburg. - Brandenburg. geowiss. Beitr. **10**, 1/2, S. 153-158, 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

HESS V. WICHDORF, H. (1910): Über ein neues ausgedehntes diluviales Kalklager bei Gr.-Drewitz unweit Guben. - Z. dtsch. geol. Ges. **62**, Monatsber. Nr. 1, S. 72-81, Stuttgart

HUCKE, K. (1913): Über altquartäre Ostracoden, insbesondere über die Ergebnisse einer Untersuchung der Ostracodenfauna des Interglazials von Dahnsdorf bei Belzig und Frankfurt (O.). - Z. dtsch. geol. Ges **64**, S. 333-343, Stuttgart

HUNTLEY, J. B., BIRKS, H. J. B. (1983): An atlas of past and present pollen maps for Europe: 0 - 13 000 years ago. - 667 S., Cambridge (University Press)

HUCKE, K. (1922): Geologie von Brandenburg. - 352 S., Stuttgart (Ferdinand Enke)

IVERSEN, J. (1954): The late glacial-flora of Denmark and its relation to climate and soil. - D.G.U., IV. Rk., **80**, S. 87-119, København

JESSEN, K. & V. MILTHERS (1928): Interglacial Fresh-water Deposits in Jutland and Northwest Germany. - Danm. Geol. Unders. II R. **48**, 301 S., Kopenhagen

KAUNHOWEN, F. & J. STOLLER (1926): Neuere Aufschlüsse im Berliner Diluvium. - Jb. preuß. geol. Landesanst. [1925], **46**, S. 616-626, Berlin

KEILHACK, K. (1883): Über präglaziale Süßwasserablagerungen im Diluvium Norddeutschlands. - Jb. preuß. geol. Landesanst. [1882] **3**, S. 133-172, Berlin

KEILHACK, K. (1906): Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte, Blatt Belzig. - Lief. 137, Berlin

KEILHACK, K. (1906a): Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte, Blatt Görzke. - Lief. 137, Berlin

KEILHACK, K. (1915): Ergebnisse einer Bohrung bei Oranienburg. - Z. dt. Ges. Geowiss. **67**, S. 183-186, Stuttgart

KEILHACK, K. & M. TORNOW (1922): Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen, Blatt Komptendorf. - Lief. 225, Berlin

KEILHACK, K. & O. v. LINSTOW (1931): Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte, Blatt 3653, Frankfurt (O.), 3. Aufl., Berlin

KNETSCH, S., BÖTTGER, T., JUNGE, F. W. & P. MORGENSTERN (2007): Element- und isotopengeochemische Untersuchungen am limnischen Eem-Profil Klinge/Niederlausitz. - Natur und Landschaft in der Niederlausitz **24**, S. 129-151, Cottbus

KOERT, W. (1899): Diluviale Süßwasserschichten bei Werder. - Z. dtsch. geol. Ges. **51**, S. 60-61, Stuttgart

KÖHLER, E. (1970): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrung Groß Ziethen 2012/70. - Bericht GFE Halle vom 23.11.1970, (Archiv-Nr. 2023735), Halle (unveröff.)

KÖHLER, E. (1970a): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrung Buskow 1/70. - Bericht GFE Halle vom 26.11.1970, (Archiv-Nr. 2023736), Halle (unveröff.)

KÖHLER, E. (1976): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrung Hy Thyrow 1/74. - Bericht GFE Halle vom 25.05.1976, (Archiv-Nr. 2017609), Halle (unveröff.)

KÖHLER, E. (1976a): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrung Hy Thyrow 9/74. - Bericht GFE Halle vom 03.06.1976, (Archiv-Nr. 2017574), Halle (unveröff.)

KÖHLER, E. (1979): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrung FLS Lühnsdorf (Ig 20/75). - Bericht GFE Halle vom 09.10.1979, (Archiv-Nr. 2019303), Halle (unveröff.)

KÖHLER, E. (1979a): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrung Hy Karstädt 12/78. - Bericht GFE Halle vom 11.10.1979, (Archiv-Nr. 2019301), Halle (unveröff.)

KÖHLER, E. (1980): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrung Hy Golzow 1/73. - Bericht GFE Halle vom 01.04.1980, (Archiv-Nr. 2020700), Halle (unveröff.)

KÖHLER, E. (1980a): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrung Hy Batzlow 19/71. - Bericht GFE Halle vom 20.08.1980, (Archiv-Nr. 2019669), Halle (unveröff.)

KÖHLER, E. (1981): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrung TB Batzlow 2/80. - Bericht GFE Halle vom 17.09.1981, (Archiv-Nr. 2020659), Halle (unveröff.)

KORN, J. (1913): Über einen interglazialen Süßwasserkalk von Vevais bei Wriezen. - Jb. preuß. geol. Landesanst. [1912] **33**, II, S. 41-48, Berlin

KORN, J. (1928): Über die beim Bau des Teltow-Kanals im Diluvium entstandenen Aufschlüsse. - Jb. preuß. geol. Landesanst., **49**, S. 460-470, Berlin

KÜHL, N., LITT, T., SCHÖLZEL, C. & A. HENSE (2007): Eemian and Early Weichselian temperature and precipitation variability in northern Germany. - Quaternary Science Reviews **26**, S. 3311-3317, Amsterdam

KÜHNER, R., ERD, K., STRIEGLER, U. & R. STRIEGLER, (1989): Das Eem-Interglazial von Klinge-Nord. - Natur und Landschaft Bezirk Cottbus NLBC **11**, S. 45-58, Cottbus

KÜHNER, R. (1991): Einige Aspekte zu bemerkenswerten Pleistozänaufschlüssen im Tagebau Cottbus-Nord. - Z. f. geol. Wiss. **19**, 3, S. 317-330, Berlin

KÜHNER, R. & J. STRAHL (2008): Die Eem-Vorkommen am Außenrand der warthestadialen Vereisung im Tagebau Welzow-Süd, Niederlausitz. - Z. dt. Ges. Geowiss. **159**, 2, S. 191-204, Stuttgart

KÜHNER, R., SÜSSMILCH, P., STRAHL, J. & H. U. THIEKE (2008): Lithologische und pollenanalytische Befunde aus dem saalefrühglazialen Schotterkomplex und dem Eem-Interglazial im Tagebau Jänschwalde, Südbrandenburg. - Brandenburg. geowiss. Beitr. **15**, 1, S. 1-21, Kleinmachnow

KUSZELL, T., CHMAL, R. & K. SŁYCHAN (2007): Early Vistulian climate oscillations in the light of pollen analysis of deposits from Dziadowa Kłoda (Silesian Lowland, Poland). - Geol. Quart. **51**, 3, S. 319-328, Warszawa

LAGIES, M. (1999): Ergebnisse der pollenanalytischen Bearbeitung des Profils GWM B 5091(Sen 5091/1998, Pankow), Probentiefen 16,5 – 27 m. - Bericht Technische Universität Berlin vom 14.12.1999, (Archiv-Nr. 1007784), Berlin (unveröff.)

LAGIES, M. (2001): Ergebnisse der pollenanalytischen Bearbeitung der Profile 725 (725/2000 Zehlendorf-Mitte) und 3332. - Bericht Technische Universität Berlin vom 17.01.2001 (Archiv-Nr. 1007783), Berlin (unveröff.)

LANG, G. (1994): Quartäre Vegetationsgeschichte Europas. - 462 S., Jena (Gustav Fischer)

LAUFER, E. (1882): Ein Süßwasserbecken der Diluvialzeit bei Körbis-Krug nahe Königs-Wusterhausen. - Jb. preuß. geol. Landesanst. [**1881]**, S. 496-500, Berlin

LEMBKE, H., ALTERMANN, M., MARKUSE, G. & B. NITZ (1970): Die periglaziäre Fazies im Alt- und Jungmoränengebiet nördlich des Lößgürtels. - In: RICHTER, H., HAASE, G., LIEBEROTH, I. & R. RUSKE (Hrsg.) (1970): Periglazial - Löß - Paläolithikum im Jungpleistozän der Deutschen Demokratischen Republik, S. 213-268, Gotha, Leipzig

LEEUWEN VAN, R. J. W., BEETS, D. J., BOSCH, J. H. A., BURGER A. W., CLEVERINGA, P., VAN HARTEN, D., HERNGREEN, G. F. W., KRUK, R. W., LANGEREIS, C. G., MEIJER, T., POUWER, R. & H. DE WOLF (2000): Stratigraphy and integrated facies analysis of the Saalian and Eemian sediments in the Amsterdam-Terminal borehole, the Netherlands. - Geologie en Mijnbouw/Netherlands Journal of Geosciences **79**, 2/3, S. 161-196, Utrecht

LIMBERG, A. (1991): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Berlin 1 : 10 000, Blatt 425 und 426. - 60 S., Berlin

LITT, T. (1994): Paläoökologie, Paläobotanik und Stratigraphie des Jungquartärs im nordmitteleuropäischen Tiefland. Unter besonderer Berücksichtigung des Elbe-Saale-Gebietes. - Dissertationes Botanicae **227**, 185 S., Berlin, Stuttgart

LITT, T. (2007) (Hrsg.): Stratigraphie von Deutschland – Quartär. - Eiszeitalter & Gegenwart, Quaternary Science Journal **56**, 1/2, 138 S., Hannover

LITT, T. & P. GIBBARD (2008): Definition of a Global Stratotype Section and Point (GSSP) for the base of the Upper (Late) Pleistocene Subseries (Quaternary System/Period). - Episodes **31**, 2, S. 1-4, Peking

MAI, D. H. (1985): Entwicklung der Wasser- und Sumpfpflanzen-Gesellschaften Europas von der Kreide bis ins Quartär. - Flora **176**, S. 449-511, Jena

MAI, D. H. (1995): Tertiäre Vegetationsgeschichte Europas. - 691 S., Jena (Gustav Fischer)

MAI, H. D. & H. WALTHER (1988): Die pliozänen Floren von Thüringen/Deutsche Demokratische Republik. - Quartärpaläontologie **7**, S. 55-297, Berlin

MAUDREI, F. (1968): Geomorphologische , stratigraphische und paläogeographische Untersuchungen im Pleistozän des Niederen Fläming. - Diss. Humboldt Universität zu Berlin, Berlin (unveröff.)

MAUDREI, F. & K. E. SCHMIDT (1966): Fossile Bodenbildungen der Eem-Warmzeit im Raum Jüterbog-Dahme-Luckau. - Geologie **15**, S. 111 - 118, Berlin

MENG, S. (2007): Erforschung und Darstellung der paläoökologischen Verhältnisse am Referenzprofil Neumark-Nord. Paläoökologische und stratigraphische Interpretation der Molluskenfauna. - Bericht Universität Greifswald, 8 S., Greifswald (unveröff.)

MENKE, B. & P.-H. ROSS (1967): Der erste Fund von Kieselgur in Schleswig-Holstein bei Brokenlande, südlich von Neumünster. - Eiszeitalter u. Gegenwart **18**, S. 113-126, Öhringen

MENKE, B. (1975): Vegetationsgeschichte und Florenstratigraphie Nordwestdeutschlands im Pliozän und Frühquartär. Mit einem Beitrag zur Biostratigraphie des Weichsel-Frühglazials. - Geol. Jb. **A 26**, S. 3-151, Hannover

MENKE, B. (1980): Vegetationskundlich-ökologisches Modell eines Interglazial-Glazial-Zyklus in Nordwestdeutschland. - Phytocoenologica **7**, S. 100-120, Stuttgart, Braunscheig

MENKE, B. & R. TYNNI (1984): Das Eem-Interglazial und das Weichselfrühglazial von Redderstall/Dithmarschen und ihre Bedeutung für die mitteleuropäische Jungpleistozän-Gliederung. - Geol. Jb. **A76**, S. 3-120, Hannover

MIELECKE, W. (1958): Über den „Septarienton“ von Nennhausen bei Rathenow. - Z. angew. Geol. **4**, S. 366-373, Berlin

MÜLLER, H. (1974): Pollenanalytische Untersuchungen an der eem-zeitlichen Kieselgur von Bispingen/Luhe. - Geol. Jb. **A21**, S. 149-169, Hannover

MUNTHE, H. (1930): Notes on the interglacial beds of Phöben near Berlin. - Geol. Fören. Förhandl. Stockholm **52**, S. 589-602, Stockholm

NEHRING, A. (1895): Über Wirbeltierreste von Klinge. - N. Jb. f. Min. etc. **1**, S. 183-208, Stuttgart

NOVENKO, E. Y., VELICHKO, A. A., SUGANOVA, I. S., JUNGE, F. W. & T. BOETTGER (2005): Dynamics of vegetation at the Late Pleistocene Glacial/Interglacial transition (new data from the center of the East European plain). - Polish Geological Institute Special Papers **16**, S. 77-82, Warszawa

NOWEL, W., NIEDERSTRASSER, H. & K. ERD (1997): Ablagerungen der Eem-Warmzeit und Weichsel-Kaltzeit im Stadtgebiet von Cottbus. - Natur und Landschaft in der Lausitz **18**, S. 37-64, Cottbus

NOWEL, W. (2007): Zur geologischen Entwicklung und Erforschung der Gegend um Klinge. - Natur und Landschaft in der Niederlausitz **24**, S. 9-24, Cottbus

PREUSS, H., VINKEN, R. & H.-H. VOSS (1991): Symbolschlüssel Geologie. - 328 S., Hannover

REINDERS, J. & U. HAMBACH (2007): Paläomagnetische Bearbeitung der Schichten von Klinge.- Natur und Landschaft in der Niederlausitz **24**, S. 152-165, Cottbus

ROEDEL, H. (1897): Eine diluviale Süßwasserablagerung bei Frankfurt a. O. - Helios **14**, S. 101-104, Moskau

SANCHEZ-GOÑI, M. F., EYNAUD, F., TURON, J. L. & N. J. SHACKLETON (1999): High resolution palynological correlation of the Iberian margin: direct land-sea correlation for the Last interglacial complex. - Earth and Planetary Science Letters **171**, S. 123-137, Amsterdam

SHACKLETON, N. J., SÁNCHEZ-GOÑI, M. F., PAILLIER, D. & Y. LANCELOT (2003): Marine Isotope Substage 5e and the Eemian Interglacial. - Global and Planetary Change **36**, S. 151-155, Amsterdam

SCHMIERER, T. & F. SOENDEROP (1905): Fossilführende Diluvialschichten bei Mittenwalde (Mark). - Jb. preuß. geol. Landesanst. [1902] **23**, S. 544-548, Berlin

SCHRÖDER, H. & J. STOLLER (1908): Wirbeltierskelette aus den Torfen von Klinge bei Kottbus.- Jb. preuß. geol. Landesanst. [1905] **26**, S. 418-435, Berlin

SCHROEDER, J. H., LIPPSTREU, L., ZIERMANN, H. & R. ZWIRNER (1997): I – 1.3 Das Quartär: Sedimentologie und Stratigraphie. - In: SCHROEDER, J. H. (Hrsg.) 1997): Führer zur Geologie von Berlin und Brandenburg, Nr. 4: Potsdam und Umgebung, 200 S., Berlin

SCHULZ, R., BAURIEGEL, A., BEER, H., BROSE, F., HOTZAN, G., JORTZIG, H., LIPPSTREU, L., LUDWIG, F., PIOTROWSKI, A., SCHLAAK, N., URBANSKI, K. & R.-G. WEDDE (2007): Erläuterungen zur Geologischen Karte 1 : 50 000, Blatt L 3752 Frankfurt (Oder)/Słubice. - 139 S., Potsdam

SEIFERT, M. (1969): Teilbericht der paläontologischen Untersuchungen von 26 Proben des Objektes Pankow 1/61. - Bericht VEB GFE BT Freiberg vom 08.09.1969 (Archiv-Nr. 1007462), Freiberg (unveröff.)

SEIFERT, M. (1970): Bericht über die pollenanalytischen Untersuchungen von 11 Proben des Objektes LSW A/12 ≅ 01/12. - Bericht VEB GFE BT Freiberg vom 05.01.1970 (Archiv-Nr. 1007487), Freiberg (unveröff.)

SEIFERT, M. (1970a): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Wasserbohrung Satzkorn 1970. - Bericht VEB GFE BT Freiberg vom 21.12.1970, (Archiv-Nr. 2023699), Freiberg (unveröff.)

SEIFERT, M. (1971): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrung 8/69 des hydrogeologischen Objektes Luckau. - Bericht VEB GFE BT Freiberg vom 17.05.1971, (Archiv-Nr. 2023710), Freiberg (unveröff.)

SEIFERT, M. (1972): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung von Proben aus der Hydrobohrung CF Lukkenwalde 55/71. - Bericht VEB GFE BT Freiberg vom 07.01.1972 (Archiv-Nr. 2023717), Freiberg (unveröff.)

SEIFERT, M. (1973): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Wasserbohrung Löwendorf 1/72. - Bericht VEB GFE BT Freiberg vom 03.04.1973, (Archiv-Nr. 100390), Freiberg (unveröff.)

SEIFERT, M. (1974): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung einer Probe aus der Kiesgrube Vehlen. - Bericht VEB GFE BT Freiberg vom 16.04.1974, (Archiv-Nr. 2016402), Freiberg (unveröff.)

SEIFERT, M. (1974a): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrung Cf Guben 8/73. - Bericht VEB GFE BT Freiberg vom 31.07.1974, (Archiv-Nr. 2016886), Freiberg (unveröff.)

SEIFERT, M. (1975): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der W-Bohrung Maulbeerwalde 1/74. - Bericht VEB GFE BT Freiberg vom 24.04.1975, (Archiv-Nr. 2017107), Freiberg (unveröff.)

SEIFERT, M. (1978): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrung Frauensee 1/72. - Bericht VEB GFE BT Freiberg vom 13.04.1978, (Archiv-Nr. 2018327), Freiberg (unveröff.)

SEIFERT, M. (1980): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Braunkohlenbohrung Berkenbrück 23/74. - Bericht VEB GFE BT Freiberg vom 09.01.1980, (Archiv-Nr. 2019429), Freiberg (unveröff.)

SEIFERT, M. (1980a): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrung Ferch-Lienewitz 1/76. - Bericht VEB GFE BT Freiberg vom 14.01.1980, (Archiv-Nr. 2019430), Freiberg (unveröff.)

SEIFERT, M. (1983): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrung Krugau 1/74. - Bericht VEB GFE BT Freiberg vom 06.06.1983, (Archiv-Nr. 100195), Freiberg (unveröff.)

SEIFERT, M. (1983a): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung Kraftwerk Jänschwalde 15/70. - Bericht VEB GFE BT Freiberg vom 05.09.1983, (Archiv-Nr. 1007769), Freiberg (unveröff.)

SEIFERT, M. (1984): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrung Lübbenau 1/71. - Bericht VEB GFE BT Freiberg vom 09.01.1984, (Archiv-Nr. 100041), Freiberg (unveröff.)

SEIFERT, M. (1986): Bericht über die pollenanalytischen Untersuchungen der Bohrungen 23/85 und 29/86 des Objektes Kieselgur Jocksdorf. - Bericht VEB GFE BT Freiberg vom 16.10.1986, Anlage 252-275. - In: HORTENBACH, R. & D. STEDING (1987): Ergebnisbericht Kieselgur Jocksdorf (Kr. Forst) 1986. - Bericht VEB GFE BT Freiberg vom 08.01.1987 (Archiv-Nr. 1004798), Freiberg (unveröff.)

SEIFERT, M. (1991): Pollenanalytische Untersuchungen im Nördlichen Nebenbecken des Eemsees von Schönfeld, Kreis Calau. - Natur und Landschaft in der Niederlausitz, Sonderheft, S. 82-85, Cottbus

SEIFERT, M. (1992): Vorläufige Mitteilung über die pollenanalytischen Untersuchungen des Profils D der Älteren Dominalgrube von Klinge. - Bericht LfUG Sachsen, Freiberg (unveröff.)

SEIFERT, M. (1993): Pollenanalyse und Vegetationsentwicklung des Profils C, Objekt „Eem – Klinge". - Bericht LfUG Sachsen, Freiberg (unveröff.)

SEIFERT, M. (1995): Pollenanalytische Bearbeitung des oberen Teils der Klinger Schichten. - Bericht LfUG Sachsen, Freiberg (unveröff.)

SEIFERT, M. (1996): Pollenanalyse und Vegetationsentwicklung im Spät-Saaleglazial von Schönfeld bei Calau, Niederlausitz. - Natur und Landschaft in der Niederlausitz, Sonderheft, S. 80-87, Cottbus

SEIFERT-EULEN, M. (2007): Vegetationsentwicklung (Pollenanalyse) des Klinger Interglazials. - Natur und Landschaft in der Niederlausitz **24**, S. 108-119, Cottbus

SELLE, W. (1952): Die Interstadiale der Weichselvereisung. - Eiszeitalter u. Gegenwart, **2**, S.112-119, Öhringen

STOLLER, J. (1909): Beiträge zur Kenntnis der diluvialen Flora (bes. Phanerogamen) Norddeutschlands. I. Motzen, Werlte, Ohlsdorf-Hamburg. - Jb. preuß. geol. Landesanst. [1908] **29**, S. 102-121, Berlin

STOLLER, J. (1926): Beiträge zur Kenntnis der diluvialen Flora (bes. Phanerogamen) von Norddeutschland. III. Phöben, Kohlhasenbrück, Quakenbrück. - Jb. preuß. geol. Landesanst. [1926] **47**, S. 330-340, Berlin

STRAHL, J., KEDING, E., STEINICH, G., FRENZEL, P. & U. STRAHL (1994): Eine Neubearbeitung der eem- und frühweichselzeitlichen Abfolge am Klein Klütz Höved, Mecklenburger Bucht. - Eiszeitalter u. Gegenwart **44**, S. 62-78, Hannover

STRAHL, J. (1995): Kurzbericht zur pollenanalytischen Untersuchung von drei Proben aus den Bohrungen DS 44/93 und DS 11/93. - Bericht BGR Berlin vom 06.02.1995, Berlin (unveröff.)

STRAHL, J. (2000): Detailergebnisse pollenanalytischer Untersuchungen an saalespätglazialen bis weichselfrühglazialen Sedimenten aus dem Kiestagebau Hinterste Mühle bei Neubrandenburg (Mecklenburg-Vorpommern). - Brandenburg. geowiss. Beitr. **7**, 1/2, S. 29-40, Kleinmachnow

STRAHL, J. (2000a): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung einer Probe aus der Sandgrube Krielower Berg (Land Brandenburg). - Bericht LGRB vom 20.04.2000, (Archiv-Nr. 1006300), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2000b): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung von zwei Proben aus der Sandgrube Phöben (Land Brandenburg). - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 20.04.2000, (Archiv-Nr. 1006301), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2000c): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung einer Probe aus der Bohrung Wilhelmshof 1/99. - Bericht LGRB Kleinmachnow vom 20.04.2000, (Archiv-Nr. 1006302), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2000d): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrungen Pritzwalk 1/99 und 2/99. - Bericht LGRB Kleinmachnow vom 30.05.2000 (Archiv-Nr. 1006298), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2000e): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung von fünf Proben aus dem Aufschluß Oehna, Erdgastrasse Fläming. - Bericht LGRB vom 13.10.2000, (Archiv-Nr. 1006010), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2000f): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung von vier Proben aus der Bohrung Wildpark West. - Bericht LGRB Kleinmachnow vom 17.10.2000, (Archiv-Nr. 1006014), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2000g): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung von fünf Proben aus den Bohrungen Mixdorf 1/98, 2/98 und 3/98 (Hy Mxd 1/98, 2/98, 3/98). - Bericht LGRB Kleinmachnow vom 20.10.2000, (Archiv-Nr. 1006019), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2000h): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrung Frankfurt RKS 177/94. - Be-

richt LGRB Kleinmachnow vom 30.11.2000 (Archiv-Nr. 1006032), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2001): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung von 38 Proben aus der Bohrung Hy Nedlitz 1/92 (PNz 101/92), Land Brandenburg. - Bericht LGRB Kleinmachnow vom 08.02.2001 (Archiv-Nr. 1006067), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2000e): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung von fünf Proben aus dem Aufschluß Oehna, Erdgastrasse Fläming. - Bericht LGRB Kleinmachnow vom 13.10.2000, (Archiv-Nr. 1006010), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2000f): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung von vier Proben aus der Bohrung Wildpark West. - Bericht LGRB Kleinmachnow vom 17.10.2000, (Archiv-Nr. 1006014), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2000g): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung von fünf Proben aus den Bohrungen Mixdorf 1/98, 2/98 und 3/98 (Hy Mxd 1/98, 2/98, 3/98). - Bericht LGRB Kleinmachnow vom 20.10.2000, (Archiv-Nr. 1006019), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2004): Das Geotop von Klinge – pollenanalytische Untersuchungen an den saalespätglazialen bis weichselfrühglazialen Ablagerungen der ehemaligen Dominalgrube von Klinge, Tagebau Jänschwalde. - Brandenburgische geowiss. Beiträge **11**, 1/2, S. 111-121, Kleinmachnow

STRAHL, J. (2004a): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung von fünf Proben aus dem Tagebau Cottbus-Nord, Ausräumung Merzdorfer Ausbauten, Land Brandenburg. - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 20.09.2004, (Archiv-Nr. 1007237), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2004b): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung einer Probe aus dem Zochetal, Hönow-Süd, Land Brandenburg. - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 20.09.2004, (Archiv-Nr. 1007238), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2004c): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Kernbohrungen Ww 3/03 (KB Tschernitz SN-3/2003) und Ww 5/03 (KB Tschernitz SN-5/2003), Land Brandenburg. - Bericht LBGR vom 15.10.2004 (Archiv-Nr. 1007266), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2004d): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung von drei Proben aus der Bohrung SB 1 Potsdam-Bornim, Land Brandenburg. - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 24.11.2004, (Archiv-Nr. 1007316), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2005): Bericht zur pollenanalytischen Untersuchung der Bohrung HB Bornim 1/2004 (Land Brandenburg). - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 14.03.2005, (Archiv-Nr. 1007374), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2005a): Bericht zur pollenanalytischen Untersuchung von fünf Proben aus den Brunnenbohrungen Mixdorf 1/03 und 2/03. - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 21.03.2005, (Archiv-Nr. 1007376), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2005b): Bericht zur pollenanalytischen Untersuchung von sieben Proben aus den Bohrungen OU Eisenhüttenstadt 09/05, Kerkwitz BR 01/05, Atterwasch BR 01/04, OU Guben BW 8 und Sacro BR 01/05. - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 26.08.2005, (Archiv-Nr. 1007439), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2005c): Bericht zur pollenanalytischen Untersuchung der Eemvorkommen von Rehnsdorf, Wolkenberg und Wolkenberg I, Tagebau Welzow-Süd. - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 10.11.2005, (Archiv-Nr. 1007470), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2005d): Bericht zur pollenanalytischen Untersuchung von neun Proben aus der Bohrung BW 3, Autobahn A 115. - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 16.11.2005, (Archiv-Nr. 1007482), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2006): Bericht zur pollenanalytischen Untersuchung einer Probe aus der Bohrung BR Zachow, Land Brandenburg. - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 10.01.2006, (Archiv-Nr. 1007498), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2006a): Bericht zur pollenanalytischen Untersuchung von drei Proben von der Westflanke des Großen Entenfängerberges, Land Brandenburg. - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 10.01.2006, (Archiv-Nr. 1007499), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2006b): Bericht zur pollenanalytischen Untersuchung von fünf Proben aus der Sandgrube Stechow (Land Brandenburg). - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 03.02.2006, (Archiv-Nr. 1007500), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2006c): Bericht zur pollenanalytischen Untersuchung von vier Proben aus der Sandgrube Marzahne (Land Brandenburg). - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 03.02.2006, (Archiv-Nr. 1007521), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2006d): Bericht zur pollenanalytischen Untersuchung der Bohrung KB Schönermark 1/02 (Land Brandenburg). - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 01.03.2006 (Archiv-Nr. 1007526), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2006e): Bericht zur pollenanalytischen Untersuchung der Bohrung Potzlow 2000 (Land Brandenburg). -

Bericht LBGR Kleinmachnow vom 01.03.2006 (Archiv-Nr. 1007527), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2006f): Bericht zur pollenanalytischen Untersuchung der Bohrung THW 11685/06, Hornoer Hochfläche (Land Brandenburg). - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 08.08.2006, (Archiv-Nr. 1007551), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2006g): Bericht zur pollenanalytischen Untersuchung von acht Proben aus der Bohrung Tremsdorf 1/2004 (Hy Tso 1/2004), Land Brandenburg. - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 08.08.2006, (Archiv-Nr. 1007565), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2006h): Information zur pollenanalytischen Untersuchung einer Probe aus der Bohrung WW Gühlen BR 3/06, Land Brandenburg. - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 04.10.2006, (Archiv-Nr. 1007622), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2006i): Bericht zur pollenanalytischen Untersuchung von zehn Proben aus den Bohrungen Bernau P32/02 und RF 26/02, Land Brandenburg. - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 18.10.2006, (Archiv-Nr. 1007576), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2007): Pollenanalytische Revisionsbearbeitung des Eem-Interglazials von Eichow (Eichow 4/59, Niederlausitz, Land Brandenburg). - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 22.01.2007 (Archiv-Nr. 1007615), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2007a): Information zur pollenanalytischen Untersuchung einer Probe aus der Bohrung Eichow 21/56. - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 28.02.2007, (Archiv-Nr. 1007630), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2007b): Pollenanalytische Revisionsbearbeitung der Bohrungen Görzke 5A2/87, 6A/87, 8/87, 9/87 und 12A2/87 (Bohrfeld Görzke, Länder Brandenburg und Sachsen-Anhalt). - Bericht LBGR vom 12.03.2007, (Archiv-Nr. 1007627), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2007c): Information zur pollenanalytischen Untersuchung einer Kalkmuddeprobe aus der Bohrung Dabergotz 1994. - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 01.11.2007, (Archiv-Nr. 1007712), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2007d): Bericht zur pollenanalytischen Untersuchung der Bohrung Hy Geltow 1/2006. - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 22.11.2007, (Archiv-Nr. 1007710), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2007e): Bericht zur pollenanalytischen Untersuchung der Bohrungen KB Strausberg 2007 und Strausberg 14/60 (Sportplatz), Land Brandenburg. - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 29.11.2007 (Archiv-Nr. 1007727), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2007f): Pollenanalytische Revisionsbearbeitung der Bohrungen Nedlitz 1/87, 1A/87 und 3/88 (Land Sachsen-Anhalt). - Bericht LBGR vom 06.02.2007 (Archiv-Nr. 100 76 21), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2008): Information zur pollenanalytischen Revisionsuntersuchung von drei Proben aus der Grube Zellendorf. - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 16.01.2008, (Archiv-Nr. 1007748), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2008a): Abbruchbericht zur pollenanalytischen Bearbeitung der Bohrung Brk Bagenz 46/60 (Brk Bgz 46/60), Land Brandenburg. - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 30.01.2008, (Archiv-Nr. 1007752), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2008b): Bericht zur pollenanalytischen Bearbeitung der Bohrung Cottbus-Nord 1706/71 (Brk CN 1706/71), Land Brandenburg. - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 12.02.2008 (Archiv-Nr. 1007758), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2008c): Pollenanalytische Revisionsbearbeitung der Bohrungen Oehna 19/87, 24/87, 25/87, 27/87, 30/87, 35/87 und 37/87 (Bohrfeld Oehna, Land Brandenburg). - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 14.02.2008 (Archiv-Nr. 1007768), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2008d): Bericht über die pollenanalytische Bearbeitung der Bohrung KB Borgisdorf 1/06, Land Brandenburg. - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 26.02.2008 (Archiv-Nr. 1007770), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2008e): Bericht über die pollenanalytische Bearbeitung der Bohrung Kt 8244 (Egsdorf), Land Brandenburg. - Bericht LBGR Kleinmachnow vom 16.07.2008 (Archiv-Nr. 1007781), Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. & R. SCHULZ (2003): Ein neues Eem-Vorkommen in Mixdorf (Landkreis Oder-Spree). - Brandenburgische Geowiss. Beitr. **10**, 1/2, S. 149-151, Kleinmachnow

STRIEGLER, R. (1991): Beschreibung des Eem-interglazialen Seebeckens von Schönfeld, Kreis Calau. - Natur und Landschaft in der Niederlausitz, Sonderheft, S. 48-65, Cottbus

STRIEGLER, R. (2007): Die Tongruben von Klinge bei Cottbus. - Natur und Landschaft in der Niederlausitz **24**, S. 6-8, Cottbus

STRIEGLER, R. (2007a): Die Erforschung der Eem-Vorkommen von Klinge. - Natur und Landschaft in der Niederlausitz **24**, S. 53-107, Cottbus

VELICHKO, A. A., NOVENKO, E., PISAREVA, V. V., ZELIKSON, E. M., BOETTGER, T. & F. W. JUNGE (2005): Vegetation and climate changes during the Eemian interglacial in Central and Eastern Europe: comparative analysis of pollen data. - Boreas **34**, S. 207-219, Oslo

WAHNSCHAFFE, F. (1885): Die Süßwasserfauna und Süßwasserdiatomeenflora im Unteren Diluvium der Gegend von Rathenow. - Jb. preuß. geol. Landesanst. [1884], S. 260-281, Berlin

WAHNSCHAFFE, F. & F. SCHUCHT (1921): Geologie und Oberflächengestaltung des norddeutschen Flachlandes. - S. 347 S., Stuttgart

WEBER, C. A. v. (1893): Über die diluviale Vegetation von Klinge in Brandenburg und über ihre Herkunft. - Botanische Jahrbücher **XVII**, 1/2, Beibl. 40, S. 3-20, Stuttgart

WIEGERS, F. (1929): Über Gliederung und Alter des Magdeburger Diluviums und die Zahl der Eiszeiten in Norddeutschland. - Jb. preuß. geol. Landesanst. [1929] **50**, S. 29-124, Berlin

ZAGWIJN, W. (1983): Sea-level changes in the Netherlands during the Eemian. - Geologie en Mijnbouw **62**, S. 437-450, Den Haag

ZWIRNER, R. & J. STRAHL (2002): Lithologische und pollenanalytische Untersuchungen an holstein- bis fuhnezeitlichen Ablagerungen im Gebiet Dömitz-Lenzen (NW-Brandenburg). - Brandenburg. geowiss. Beitr. **9**, 1/2, S. 33-43, Kleinmachnow

* CD als Anlage am Ende des Heftes

Anschrift der Autoren:
Dipl.-Geol. Norbert Hermsdorf
Dr. Jaqueline Strahl
Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe
Außenstelle Kleinmachnow
Bereich Geologie
Stahnsdorfer Damm 77
14532 Kleinmachnow
e-mail:
norbert.hermsdorf@lbgr-brandenburg.de
jaqueline.strahl@lbgr-brandenburg.de

Mitteilung aus dem Landesamt No. 217

Karte der Eemvorkommen des Landes Brandenburg 1 : 300 000

Herausgegeben vom Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg
Cottbus 2008

Bearbeiter: Strahl J. & N. Hermsdorf (LBGR)

1 - Wilhelmshof 1/1999 (Hy Wh 1/1999). Eem-Interglazial, PZ 9 (Strahl 2000c)
2 - KB Schönermark 1/02. Eem-Interglazial, PZ 9, Weichselfrühglazial mit resedimentiertem Eem-Interglazial. Stadial, PZ WF x (Strahl 2006d)
3 - P Ropersdorf 4/00. Eem-Interglazial, PZ 4? - PZ 5 (Heinrichs & Strahl 2006)
4 - KB Potzlow 2/00. Eem-Interglazial, PZ 7-8, Weichselfrühglazial mit resedimentiertem Eem-Interglazial. Stadial, PZ WF x (Strahl 2006e)
5 - KB Ropersdorf 1/00. Eem-Interglazial, PZ 9, Weichselfrühglazial mit resedimentiertem Eem-Interglazial und Präquartär (Heinrichs & Strahl 2006)
6 - Hy Potzlow 1/73 (Hy Pz 1/74). Eem-Interglazial, PZ 5b-c?. Eem-Interglazial, PZ 6/7, 8a, weichselfrühglazial resedimentiert, Weichselfrühglazial, PZ WF x (Eissmann 1978)
7 - KB Ropersdorf 2/00. Saalespätglazial, PZ B, PZ C2, Eem-Interglazial, PZ 4-5b, PZ 9, Weichselfrühglazial mit resedimentiertem Eem-Interglazial und Präquartär (Heinrichs & Strahl 2006)
8 - Hy Karstädt 12/78 (Hy KdPe 12/78). Eem-Interglazial. PZ 8-9? (Köhler 1979a)
9 - Hy Ihark 3/74 (Hy Ihark 2/74). Eem-Interglazial, PZ 5-6b (Eissmann 1975)
10 - Jakobsdorf 15/77. Eem-Interglazial, PZ 2, PZ 4-7 (Eissmann & Pasternak 1983)
11 - Jakobsdorf 7/77. Eem-Interglazial, PZ 6, Weichselfrühglazial, PZ WF Ib? (Eissmann & Pasternak 1983)
12 - HB 669 Objekt L 2830, Prützwalk. Eem-Interglazial, PZ 7-8 (Eissmann 1997d)
13 - Hy Heidelberg 1/75 (Hy Lng 1/75). Eem-Interglazial, PZ 4 (Eissmann 1979)
14 - Prützwalk ACZ 8/77. Eem-Interglazial, PZ 1, PZ 6-8a (Eissmann 1979c)
15 - Prützwalk ACZ 1/78. Saalespätglazial?, Eem-Interglazial, PZ ?, (Eissmann 1979c)
16 - Prützwalk 1/89. Saalespätglazial PZ C. Eem-Interglazial PZ 3-9, Weichselfrühglazial, WF x (Strahl 2000d)
17 - Ig Papenbruch 7/78 (Ig WL 7/78). Weichselfrühglazial, PZ WF II? (Eissmann 1979d)
18 - Ig Papenbruch 9/78 (Ig WL 9/78). Eem-Interglazial, PZ 8b, Weichselfrühglazial, PZ WF II? (Eissmann 1979d)
19 - Hy Maulbeerwalde 1/74 (Hy Mau 74): kalkreiliches Quartär mit resedimentiertem Präquartär, Eem-Interglazial, PZ 2, PZ 8b, PZ 8b/9, Weichselfrühglazial, PZ WF Ia mit resedimentiertem Eem-Interglazial, PZ 9 (Stuetzel 1975)
20 - Hy Lubrow 22/72 (Hy Lum 22/72). Eem-Interglazial, PZ 5/6 (Eissmann 1981)
21 - Hy Seelensdorf 1/77 (Hy Sesl 1/78). Eem-Interglazial, PZ 4, Weichselfrühglazial, PZ WF II oder Eem-Interglazial, PZ 8/9?, Stadial, PZ WF x (Eissmann 1979b)
22 - C 61-10/Trause Magnetschnellbohr. Eem-Interglazial, PZ 5c? (Strahl unveröff.)
23 - Hy Dabergotz 1994 (Hy WerNe 1/1994). Eem-Interglazial, PZ 4 (Strahl 2007c)
24 - WW Göhlen BR 3/06 (HY LnoNn 1/2006): Eem-Interglazial, PZ 4 (Strahl 2006h)
25 - Hy Gransee-Zehdenick 2/65 (Hy GsZeh 2/65): Eem-Interglazial, PZ 6 (Eissmann 1968a)
26 - Hy Golzow 1/73 (Hy GolzEb 1/73): Eem-Interglazial, PZ 8 (Köhler 1980)
27 - Rutkow 1/70 (Hy Bus 1/70): Eem-Interglazial, PZ 5/6 (Köhler 1970c)
28 - Hy Freienk 4/68 (Hy FGs 4/68): Eem-Interglazial, PZ 5-6 (Eissmann 1969)
29 - Ig Autobahn Berlin-Rostock 2012/70: kalkreiliches Quartär mit resedimentiertem Präquartär, Eem-Interglazial, PZ 5/6, PZ 6, PZ 8 (Nachfall) (Köhler 1970)
30 - Spr. Stechow. SW-Wand. Eem-Interglazial, PZ 4?, PZ 9 (Strahl 2006b)
31 - WW Rathenow SBR 4/02: Eem-Interglazial, PZ 2 (Strahl 2002b)
32 - Hy Rathenow 4/68 (Hy Ra 4/68). Eem-Interglazial, PZ 6-9, Weichselfrühglazial, PZ WF mit Bottrop-Interstadial? (Eiss 1983)
33 - Rutzhotow 1: Saalespätglazial, PZ C1-C2, Eem-Interglazial, PZ 1-9, Weichselfrühglazial, PZ WF I (Pegand 2000)
34 - WW Jenne 4/71. Eem-Interglazial, PZ 1, PZ 3-8/9 (Eiss 1973b)
35 - MGS 6 Oranienburg. Eem-Interglazial, PZ 9? (Strahl 2001a)
36 - Hy Hohenreinkendorf 1/07, Schaftlochsäbelrasse. Eem-Interglazial, PZ 3-4/5 (Eiss, schriftl. Inform.)
37 - Benau BT 25/02. Eem-Interglazial, PZ 8/9 (Strahl 2006i)
38 - Deponie Schwanebeck 7/96. Eem-Interglazial, PZ 5b (Eiss 1997)
39 - Bernau P32/02 (Hy Ba 13/2002): Saalespätglazial, Eem-Interglazial, PZ 4-8 (Strahl 2006g)
40 - Ladeburg 1E/61 (KB Ladbe 1E/61). Saalespätglazial mit resedimentiertem Präquartär, Eem-Interglazial, PZ 3-7 (9) (Eissmann & Strahl 2007)
41 - TB Batzlow 2/80 (Btl 2/80): Saalespätglazial, Eem-Interglazial, PZ 8/9 (Köhler 1981)
42 - Objekt LSW A/12 – 01/12, Vevais (Wrk/71): Eem-Interglazial, klassisch und PZ 5-8 (Kosta 1913, Shotyk 1970)
43 - Vevais, Eisenbahneinschnitt: Eem-Interglazial, klassisch und PZ 1-9 (Kosta 1913, Baoss et al. 2006)
44 - Spr. Mühlenberg, Buchow-Karpzow: kalkreiliches Quartär, Eem-Interglazial, PZ ?/? (Strahl, schriftl. Inform.)
45 - 42/03.I/980, Hahneberg: Eem-Interglazial, PZ 1-4, paratuchition (Brande in Lumbric 1991)
46 - U-Bhf. Oelser Strasse: Eem-Interglazial, PZ 7-8b/9, (Brande in Bosa 1989)
47 - Sen 509I/1998, Pankow: Eem-Interglazial, PZ 2, PZ 6/9 (Laedel 1999)
48 - TB Pankow 1/61 (BPan 1/61): Eem-Interglazial, PZ 5/6, Weichselfrühglazial, PZ WF I-III (Seibert 1969)
49 - Zosterhl. Baugrube Thällmann-Ecke Brandenburg Str.. Eem-Interglazial, PZ ? (Strahl 2004b)
50 - Lichterow 65/60 (I Hzfe Sa 65/60). Eem-Interglazial, PZ 5/6 (Eiss schriftl. Inform.)
51 - Lichterow 10/60 (I Hzfe Sa 10/60). Eem-Interglazial, PZ 4 (Eiss schriftl. Inform.)
52 - Herzfelde 14/60 (I Hzfe A14/60). Eem-Interglazial, PZ 6 (Eiss schriftl. Inform.)
53 - Strausberg 14/60 (Sportschule) (Ig Sa 14/60). Saale-Glazial, PZ A, Saalespätglazial, PZ C1, Eem-Interglazial, PZ 3-6, Weichselfrühglazial, PZ WF x (Seibert in Strahl 2007e)
54 - KB Strausberg 2/07 (Kb Sta 1/2007). Saale-Glazial, PZ A, Saalespätglazial, PZ B-C2, Eem-Interglazial, PZ 1-9, Weichselfrühglazial, PZ WF I, Stadial, PZ WF x (Strahl 2007e)
55 - Hy Batzlow 19/71 (Hy Bl 19/71): Eem-Interglazial, PZ 8/9 (Köhler 1980a)
56 - Spr. Vahlen 1974. Eem-Interglazial, PZ 6 (Seibert 1974)
57 - Spr. Marxdorf. kalkreiliches resedimentiertes Eem-Interglazial? (Strahl 2006c)
58 - Spr. Kriele/neue Berg: Eem-Interglazial, PZ 1 (Strahl 2006a)
59 - BR Zechow (Hy Zc 43/2005). Eem-Interglazial, PZ 9 oder Weichselfrühglazial, Interstadial? (Strahl 2006)
60 - Spr. Kahler Berg Zechow: Eem-Interglazial, PZ 4/5 und Torfstr. resedimentiert, Weichselfrühglazial, Interstadial? (Strahl 2002c)
61 - Phöben 2/2002 (Hy Ph4 4/72/02): Eem-Interglazial, PZ 8 (Strahl 2002d)
62 - Spr. Phöben: Eem-Interglazial, PZ 4, kalkreiliches Quartär (Strahl 2000b)
63 - Hy Satzkorn 1/70 (Hy SzK 1/70): Eem-Interglazial, PZ 9 oder Weichselfrühglazial, Interstadial? (Seibert 1970a)
64 - Phöben: Eem-Interglazial, klassisch (Schuler 1926, Muncha 1930, Eiss 1960b)
65 - Bltg. WU1982, Kiesgrube: Eem-Interglazial, PZ 4 (Brande in Bosa 1989)
66 - BG 942/1977, Pfaueninsel: Eem-Interglazial, PZ 1-6 (Brande in Bosa 1989)
67 - Sandgrube Jädow. Westrail: Eem-Interglazial, PZ 1-6 (Bosa & Brande 1979)
68 - SB1 Potsdam-Bornim (Ig Born 1/2004): Eem-Interglazial, PZ ?/? (Strahl 2004d)
69 - Hy Potsdam 110/88 (Hy P 110/88). kalkreiliches Quartär mit resedimentiertem Präquartär, kalkreiliches Quartär, Saalespätglazial?, Eem-Interglazial, PZ 9 oder Weichselfrühglazial, Interstadial? (Eiss 1988a)
70 - Bornim P 1/72. Eem-Interglazial, PZ 9 oder Weichselfrühglazial, Interstadial? (Eiss 1973c)
71 - HB Bornim 1/2004: Eem-Interglazial, PZ 9, Weichselfrühglazial, PZ WF x (Strahl 2005)
72 - Hy Potsdam 111/88 (Hy P 111/88). Saalefrühglazial, PZ A, Saalespätglazial, PZ B-C1, Eem-Interglazial, PZ 8, weichselfrühglazial resedimentiert?, Weichselfrühglazial? (Eiss 1988a)
73 - Hy Potsdam 115/88 (Hy P 115/88). Saalefrühglazial, PZ A, Eem-Interglazial, PZ 9 (oder Weichselfrühglazial, PZ WF(?) (Eiss 1988a)
74 - Hy Nedlitz 1/92 (PNz 101/92, Hy PB/96): Saaleplenialglazial, PZ A, Saalespätglazial PZ B-C, Eem-Interglazial PZ 1-9, Weichselfrühglazial, PZ WF x (Strahl 2003)
75 - Kohlhasenbrück: Eem-Interglazial, klassisch (Stoller 1926, Korn 1928, Eiss 1960b)
76 - Hy Kleinmachnow 1/96 (Hy Klm 7/1996): Eem-Interglazial, PZ 2-7 (Eiss 1997a)
77 - WWD Kleinmachnow 1/72 (Hy Klm 1/72): Eem-Interglazial, PZ 3, PZ ??, PZ 8 (Eiss 1984c)
78 - Beob Rohr 264/1979, Bundesallee: Eem-Interglazial, PZ 2, PZ 6-7 (Brande unveröff.)
79 - Sandgrube Grunewald, Jagen 85/88: Weichselfrühglazial, PZ WF II, resedimentiert (Gerolf Grabenzöller) (Bost & Brande 1992)
80 - Sen 725/2000, Zehlendorf-Mitte: Eem-Interglazial, PZ 3-4, PZ 4, PZ 7b, PZ 9, Weichselfrühglazial, PZ WF I-II (Lagies 2001)
81 - Tempelhof am IBF, Priesterweg: Eem-Interglazial, PZ 5c? (Strahl, unveröff.)
82 - Spreezahlagen 18/376 (Hy Spg 187/77): Eem-Interglazial, PZ ?, Weichselfrühglazial, PZ WF x (Eiss 1979)
83 - B10 BWS. Bauvorhaben OU Westerwitz-Bensdorf: Eem-Interglazial, PZ 4, PZ 6 (Strahl 2002e)
84 - Großer Fiener Langerberg: Eem-Interglazial?, PZ ?? (Strahl 2006a)
85 - BR Wildpark-West: Saalespätglazial, Eem-Interglazial PZ 3-5 (Strahl 2006f)
86 - Ferch-Lienewitz 1/76 (Hy Ferch 76/1): Saalefrühglazial?, Eem-Interglazial, PZ 5-6, Eem-Interglazial, PZ 8b bis Weichselfrühglazial, PZ WF x, Weichselfrühglazial, PZ WF x mit resedimentiertem Eem-Interglazial (Stiffter 1980a)
87 - Hy Gelow 1/2006 (Hy Get 3/2006): Saalespätglazial, Eem-Interglazial, PZ 4, 5, 5-6, Eem-Interglazial, PZ 5-6 mit resedimentiertem Präquartär, weichselfrühglazial aufgearbeitet? (Strahl 2007d)
88 - Werder/Havel. Eem-Interglazial, klassisch (Koert 1899, Eiss 1960b)
89 - Algelow. Eem-Interglazial, klassisch (Wahnschaffe & Schucht 1921, Eiss 1960b)
90 - Hy P Waldstadt 3/74: Eem-Interglazial, PZ 1-2, PZ 4-5 (Eiss in Schroeder et al. 1997)
91 - Hy Potsdam 301/97 (Hy P 301/1997): boreale bis subarktische Phase unklarer Zuordnung. Ende Eem-Interglazial/Beginn Weichselfrühglazial? (Eiss 1997b)
92 - Pegel Schlaatz 1982 (Ch P 11/82). Eem-Interglazial, PZ ? (Eiss 1983b)
93 - A 115, BW 3: Eem-Interglazial, PZ 2-9 (Strahl 2005d)
94 - Drewitz-Siem 82/72 (Ig PB 82/72): Saalespätglazial, Eem-Interglazial, PZ 1-4/5 (Eiss schriftl. Inform.)
95 - Drewitz-Siem 86/72 (Ig PB 86/72): Saalespätglazial, Eem-Interglazial, PZ 2, PZ 4–4/5 (Eiss schriftl. Inform.)
96 - WWD Stülpsdorf 1/72 (Hy Std 47/72): Eem-Interglazial, PZ 2, PZ 5/6, PZ 9 (Eiss 1984b)
97 - Berkenbrück 23/74 (Brk BbkFu 23): Eem-Interglazial, PZ 2-4, Weichselfrühglazial, Stadial, PZ WF I? (Seibert 1980)
98 - RKS Frankfurt 177A/94 (RKS 177A/94): Eem-Interglazial, klassisch und PZ 7-9 (Kuhlbeck & Linstow 1931, Strahl 2006b, Schulz et al. 2007)
99 - Kig Rottstock, 10/88 (Kb Grk 6/88). Eem-Interglazial, PZ 3, PZ 6 (Eiss 1989a)
100 - Kig Rottstock, 8/88 (Kb Grk 4/88). Eem-Interglazial, PZ 9, Weichselfrühglazial, Stadial-Interstadial-Abfolge (Eiss 1989a)
101 - Hy Tremsdorf 1/2004 (Hy Tm 1/2004). Eem-Interglazial, PZ 2, PZ 2/3, PZ 4, PZ 9, Weichselfrühglazial, PZ WF x? (Strahl 2006g)
102 - Hy Tlytow 9/74 (Hy Ty 9/74). Eem-Interglazial, PZ 5a (Köhler 1976a)
103 - Hy Tlytow 1/74 (Hy Ty 1/74). Eem-Interglazial, PZ 6/7 (Kowiel 1976)
104 - Hy Cf Luckenwalde 55/71 (Hy Lw 55/71): Eem-Interglazial, PZ 4-8 (Seibert 1972)
105 - Hy Löwendorf 1/72 (Hy Lwd 1/72): Eem-Interglazial, PZ 8?, Weichselfrühglazial, PZ WF x (Seibert 1973)
106 - Spr. am Wernberg, nördl. Groß Schulzendorf: Eem-Interglazial, PZ 8b (Eiss 1994)
107 - Deponie Schöneiche 44/93 (DS 44/93): Eem-Interglazial, PZ ?, PZ 9 (Strahl 1995)
108 - Körbiskrug: Eem-Interglazial, klassisch (Laudon 1882, Eiss 1960b)
109 - Motzener. Eem-Interglazial, klassisch (Schmierer & Siemiradzki 1905, Stoller 1909, Eiss 1960b)
110 - Frauensteine 1/72 (Hy Gnd 1/72): Eem-Interglazial, PZ 1-2 (Seibert 1978)
111 - Hy Neu Golm 1/74 (Hy NGo 1/74): Eem-Interglazial, PZ 5-6, PZ 9, Weichselfrühglazial, PZ WF I? (Eiss & Fischer 1983a)
112 - Flachlandspeicher Görzke 1/72 (Ig Grk 15/72): Eem-Interglazial, PZ 4-5b (Eiss 1973a)
113 - Görzke 12A2/87 (Kb Grk 12A2/87): Eem-Interglazial, PZ 9?, Weichselfrühglazial, PZ WF II oder IV?, PZ WFIII und V? (Eiss 1987a, Strahl 2007b)
114 - Kig Rottstock 3/88 (Kb Grk 12A6/88). Eem-Interglazial, PZ 5-6, PZ 8b, PZ 9, Weichselfrühglazial, Stadial-Interstadial-Abfolge (Eiss 1989)
115 - Kig Rottstock 1/88 (Kb Grk 12A4/88). Saalespätglazial oder Eem-Interglazial, PZ ??, Eem-Interglazial, PZ 2, PZ 5b-6, PZ 9, Weichselfrühglazial, PZ WF I (Eiss 1989)
116 - Görzke: Eem-Interglazial, klassisch (Kuhlbeck 1905a, Wiegers 1929)
117 - Aufschluß Schwanebeck 1973 (Beltziger Bach): Eem-Interglazial, PZ 2 (Eiss 1983a)
118 - Dahmsdorf: Eem-Interglazial, klassisch (Kuhlbeck 1906, Hucke 1913, Stoller in Keilhack 1906, Eiss 1960b)
119 - Mötz: Eem-Interglazial, klassisch (Keilhack 1906, Wiegers 1929, Eiss 1960b)
120 - Baitz: Eem-Interglazial, klassisch (Keilhack 1906, Eiss 1960b)
121 - Mixdorf BR 1/2003 (Hy Mxd 1/2003): Eem-Interglazial, PZ ?/? (Strahl 2005a)
122 - Hy Mixdorf 2/98 (Hy Mxd 3/98): Eem-Interglazial, PZ ?/5 (Strahl 2000g, Strahl & Seidel 2003)
123 - Mixdorf BR 1/2000 (Hy Mxd 3/2000): Eem-Interglazial, PZ 9 (Strahl 2001b, Strahl & Seidel 2003)
124 - Granow BR 01/2000 (Hy GranEb 1/2000): Eem-Interglazial, PZ 6 (Strahl 2002a)
125 - Hy Mixdorf 1/98 (Hy Mxd 1/98): Eem-Interglazial, PZ 2-4 (Strahl 2000g, Strahl & Seidel 2003)
126 - Mixdorf BR 2/2003 (Hy Mxd 2/2003): Eem-Interglazial, PZ ?, PZ 9 (Strahl 2005g)
127 - Hy Mixdorf 3/98 (Hy Mxd 2/98): Eem-Interglazial, PZ 9 (Strahl 2000g, Strahl & Seidel 2003)
128 - Mixdorf BR 1/95 (Hy Mxd 2/1995): Weichselfrühglazial mit aufgearbeitetem Eem-Interglazial PZ 8/9 (Strahl 2002, Strahl & Seidel 2003)
129 - Granow Grundstück Wonkin 1 (Hy Gran Eb 2/59): Eem-Interglazial, PZ 4/9, Weichselfrühglazial, PZ WF II (Eiss 1964a)
130 - Ig Lüthendorf 20/75 (Ig Lsr 20/75): Eem-Interglazial, PZ 4/5-6? (Köhler 1979)
131 - Lüthendorf: Eem-Interglazial, klassisch (Keilhack 1906, Wiegers 1929, Stoller in Keilhack 1906)
132 - Oelsa 19/87 (KB Oes 19/87): Weichselfrühglazial, Stadial, PZ WF x (Eiss 1987a, Strahl 2008c)
133 - KB Odersp 2/02 (Kb Odr 2/02): Eem-Interglazial, PZ 4/5-6, PZ 9, Weichselfrühglazial, PZ WF I-II (Strahl 2006e, Schmidt & Strahl 2008)
134 - Rehmsdorf: Saalespätglazial, PZ B-C 2, Eem-Interglazial, PZ 2-9, Weichselfrühglazial, PZ WF II-I (Strahl 2005c, Kuehne & Strahl 2008)
135 - Brk Bagow 46/69 (Brk Bg 46/69): Eem-Interglazial, PZ 9a/9 (Eiss in Strahl 2008a)
136 - Kabel 14/86 (Kig Kbl 14/86): Weichselfrühglazial, PZ WF I-II (Strahl in Vorb.)
137 - Hy Krugau 1/74 (Hy Krg 1/74): kalkreiliches Quartär mit resedimentiertem Präquartär, Eem-Interglazial, PZ 8/9 (Eissmann 1983)
138 - Hy Luckau 8/69 (Hy Lk 8/69): Eem-Interglazial, PZ ?/9 (Seibert 1971)
139 - Hy Lieberose 3/69 (Hy Lre 3/69): kalkreiliches Quartär mit resedimentiertem Präquartär, Eem-Interglazial, PZ 3, PZ 2, PZ 4 (gestörte Abfolge?), Eem 1969a
140 - Golsdorf: Eem-Interglazial, PZ 4-8b/9, Weichselglazial, PZ WF x (Eiss in Ludwig et al. 1979)
141 - Oelsa 27/87 (Kb Oes 27/87): Eem-Interglazial, PZ 5b, Weichselfrühglazial, PZ WF x (Eiss 1987a, Strahl 2008c)
142 - Oelsa, Erdgasstrasse Härting. Eem-Interglazial, PZ 6 (Strahl 2006e)
143 - Oelsa 37/87 (KB Oes 37/87). Eem-Interglazial, PZ 3-9, Weichselfrühglazial, PZ WF I-II, PZ WF III oder V?, Holsteln, Jüngstes Substratikum, PZ 15A (Eiss 1987a, Strahl 2008c)
144 - WWD Vahlsdorf 74/71 (Hy Vsdse 74/71): Weichselfrühglazial, PZ WF II? oder Eem-Interglazial, PZ 1/2?, Weichselfrühglazial, Stadial-Interstadial-(PZ WF II oder IV?)-Abfolge (Eiss 1972a)
145 - Oelsa 23/86 (KB Oes 24/86): Eem-Interglazial, PZ 6, Weichsel/frühglazial, PZ WF x (Eiss 1987a, Strahl 2008c)
146 - Oelsa 25/86 (Kb Oes 25/86): Eem-Interglazial, PZ 9, Weichselfrühglazial, Stadial, PZ WF I-II?, PZ WF III oder V? (Eiss 1987a, Strahl 2008c)
147 - Oelsa 30/87 (Kb Oes 30/86): Saalespätglazial, PZ C2. Eem-Interglazial, PZ 6-9, Weichselfrühglazial, PZ WF I (Eiss 1987a, Strahl 2008c)
148 - KB Borgsdorf 1/06 (Kb Bgs 1/2006): Saalespätglazial, Eem-Interglazial, PZ 2-9, Weichselfrühglazial, PZ WF I-IV. Weichselpleniglazial, PZ WP I (Strahl 2008d)
149 - Kerkwitz: BR 01/05 (Hy Kkz 1/2005). Eem-Interglazial, PZ ?/? (Strahl 2005b)
150 - Kalkvorkommen Drewitz/NL. Eem-Interglazial. klassisch und PZ 6-9 (Hess v. Wichdorff 1910, Eiss 1960b und schriftl. Inform.)
151 - CT Guben 8/73 (Hy Gu 8/73). Eem-Interglazial, PZ 2, PZ 4, PZ 7, PZ ?/8 (Siehorz 1974a)
152 - Kerkwitz-Atterwasch A 15/97/57 (I Atw A 15/97/57): Eem-Interglazial, PZ 2-9 (Eiss 1960)
153 - Grube Zeilendorf 1963: Eem-Interglazial, PZ 4/5a, PZ 6, PZ 8 (Eiss in Mauderer 1968, Strahl 2008)
154 - Oelsa 35/86 (Kb Oes 35/86): Saalespätglazial, PZ C2. Eem-Interglazial, PZ 2-5, PZ 7, Weichselfrühglazial, PZ WF II oder Eem-Interglazial, PZ 9? (Eiss 1987a, Strahl 2008c)
155 - KI 8250/89 Wolfmensdorf (Brk Sla 8250/89): Saalespätglazial, PZ A/B-C2, Eem-Interglazial, PZ 4-9, Weichselfrühglazial, PZ WF Ia-WF V? (Eiss & Strahl 2008)
156 - Brk Sla 8244/89 (Ugnhof): Saalespätglazial, PZ C2, Eem-Interglazial, PZ 4-8b, Weichselfrühglazial, PZ WF x (Strahl 2008e)
157 - Schönfeld, nördliches Nebenbecken: Saalespätglazial, Eem-Interglazial, PZ 1-6 (Seibert 1991)
158 - Kittlitz 2/59 (Kb Kit Ca 2/59): Eem-Interglazial, PZ 2 – 9, Weichselfrühglazial, PZ WF I-IV, Weichselpleniglazial, PZ WP I, PZ WP x (Eiss 1967, 1973)
159 - Schönfeld 1980: Saalespätglazial, Eem-Interglazial, PZ 1-9, Weichselfrühglazial, PZ WF I, PZ WF II? (Eiss 1980, 1991, Seibert 1996)
160 - Kittlitz 3/59 (Kb Kit Ca 3/59): Saalespätglazial, Eem-Interglazial, PZ 1-9, Weichselfrühglazial, PZ WF I-IV, Weichselpleniglazial, PZ WP I (Eiss 1968)
161 - Tgb. Cottbus-Nord, Station 10.0. Ausnahmequelle Eem-Interglazial. PZ 2
162 - Tauer (174 (Sportplatz): Saalespätglazial, PZ C2 mit resedimentierem Holstein-Interglazial und Präquartär, Eem-Interglazial, PZ 1, PZ 2/3, PZ 5/6-7 (Eiss 1984)
163 - KB Groß Drewitz 1/60 (Kb Fig 1/60): Eem-Interglazial PZ 3-6 (Eiss schriftl. Inform.)
164 - THW 1168 5/06, Horster Hochlache: Saalespätglazial, PZ B-C2, Eem-Interglazial, PZ 1-5b (Strahl 2006f, Kühnert et al. 2008)
165 - Eichow 21/56 (TCa 21/56): Eem-Interglazial, PZ 5a (Strahl 2007a)
166 - SLA-M Kg 7847 EA/89, Buttow (Brk Sla 7847EA/88): Saalespätglazial, PZ C2. Eem-Interglazial, PZ 4-8b, Weichselfrühglazial, PZ WF I (Eiss & Strahl 2008a)
167 - Eichow 4/59, (Niederlausitz): Saalespätglazial, PZ B-C2, Eem-Interglazial, PZ 1-9, Holsteln (Eiss 1960a, Strahl 2007)
168 - Cottbus 1/68, Peterslilonstrasse. Eem-Interglazial, PZ 4-5 (Eiss 1968b, Nowel et al. 1997)
169 - Cottbus 2/68. Eem-Interglazial. PZ 1-3 (Eiss 1968b, Nowel et al. 1997)
170 - Tgb. Cottbus-N, Ausnahmequelle Mutzlorfer Aschehalden. Eem-Interglazial, PZ 4, PZ 9 (Strahl 2004h)
171 - Cottbus, B 15 Ausbau/ Peitzer Strasse: Eem-Interglazial, PZ 1 (Eiss 1968b, Nowel et al. 1997)
172 - Ig Cottbus-Sandow 2/1509: Eem-Interglazial, PZ 5/6, PZ 9 (Eiss 1968b, Nowel et al. 1997)
173 - Cottbus, Baugrube Paul-Greifro-Str.: Eem-Interglazial, PZ 4 (Eiss 1968b, Nowel et al. 1997)
174 - Ig Cottbus-Sandow 232/69: Eem-Interglazial. PZ 7-9, Weichselfrühglazial, PZ W Ic? (Eiss 1968b, Nowel et al. 1997)
175 - Cottbus Nord 170/71 (Brk CN 170/71): Saalespätglazial, Eem-Interglazial, PZ 4/5, PZ 5, PZ 7-9, Weichselfrühglazial, PZ WF x (Köhler in Strahl 2008b)
176 - Brk Spf 42/59: Pollendiagramm verschollen
177 - Sacro BR 1/05 (Hy NiFo 1/2005): Eem-Interglazial, PZ 9? (Strahl 2005b)
178 - Cottbus-N 675/1/88. Eem-Interglazial, PZ 4-8 (Eiss in Köhler 1991)
179 - Kraftwerk Jänschwalde 15/70 (Ig Jaw 15/70): Eem-Interglazial, PZ 8/9 (Seibert 1983a)
180 - Gestorf Klinge: Saalespätglazial, PZ A, Saalespätglazial, PZ B-C2, Eem-Interglazial, klassisch und PZ 1-9, Weichselfrühglazial, PZ WF I-II (Weber 1893, Nehring 1895, Schroetter & Stoller 1908, Eiss 1960b, Stoller 2007, Seifert 1992, 1995, 1995, Strahl 2004, Velichko et al. 2005, Sachse-Eelabo 2007, Diedenko & Kremenetski 2007, Dzindzova & Kiselkevich 2007, Kremenetski et al. 2007, Nowel 2007, Bauman & Hammerl 2007)
181 - Baugrube Eisenbahnneubaustrecke Lug 1966: Eem-Interglazial, PZ 3-8b (Eiss 1979a)
182 - Kt 8377/82/88 Gräbendorf-Reddern (Brk Grd 8778/88): Saalefrühglazial, PZ A, Saalespätglazial, PZ B-C2, Eem-Interglazial, PZ 1-6/7 (Eiss & Strahl 2008b)
183 - Wolkenberg I: Eem-Interglazial. PZ 1-2, PZ 6, PZ 8-9 (Strahl 2005c, Kühnert & Strahl 2008)
184 - Wolkenberg: Eem-Interglazial, PZ 2-3, PZ 5, PZ 7-8, Weichselfrühglazial, PZ WF I-II (Strahl 2005c, Kühnert & Strahl 2008)
185 - Rehmsdorf: Saalespätglazial, PZ B-C 2, Eem-Interglazial, PZ 2-9, Weichselfrühglazial, PZ WF II-I (Strahl 2005c, Kuehne & Strahl 2008)
186 - Brk Bagow 46/69 (Brk Bg 46/69): Eem-Interglazial, PZ 9a/9 (Eiss in Strahl 2008a)
187 - Kabel 14/86 (Kig Kbl 14/86): Weichselfrühglazial, PZ WF I-II (Strahl in Vorb.)
188 - Kabel 12/86 (Kig Kbl 12/86): Saalespätglazial, PZ C2. Eem-Interglazial, PZ 1-9, Weichselfrühglazial, PZ WF x (Strahl in Vorb.)
189 - Jänschwalde S 5497/83 (Brk JäwS 5497/83): Eem-Interglazial, PZ 9a (Eiss 1984d)
190 - Jänschwalde S 5497/83 (Brk JäwS 5497/83): Eem-Interglazial, PZ 9a (Eiss 1984d)
191 - KIG Trebendorf 2/88 (Kig TrfFo 2/88): Eem-Interglazial, PZ 1, PZ 3, PZ 5-7 (Eiss 1988b)
192 - Kabel 18/86 (Kig Kbl 18/86): Eem-Interglazial, PZ 3, Weichselfrühglazial, PZ WF x (Strahl in Vorb.)
193 - KB Simmersdorf 2/85 (Kig Sim 2/85): Weichselfrühglazial, PZ WF I oder III, PZ WF II oder IV (Strahl in Vorb.)
194 - Jänschwalde S 5587/83 (Brk JäwS 5579/83): Eem-Interglazial, PZ 4, Weichselfrühglazial, PZ WF II (Eiss 1984)
195 - Kieselgur Jocksdorf 29/86 (Kig Jof 29/86): Eem-Interglazial, PZ 3-9, Weichselfrühglazial, PZ WF Ia-II (Seifert 1986)
196 - Kieselgur Jocksdorf 23/85 (Kig Jof 23/85): Eem-Interglazial, PZ 3-8b, Weichselfrühglazial, PZ WF Ia-III (Seifert 1986)
197 - KB Simmersdorf 2/85 (Kig Sim 2/85): Saalespätglazial, PZ C2, Eem-Interglazial, PZ 2, PZ 6, Weichselfrühglazial, PZ WF II (Eiss schriftl. Inform.)
198 - Groß-Rietzneuseel 19/59 (Brk Spf 19/59): Eem-Interglazial, PZ 5, PZ 9 (Eiss 1984a)
199 - Kabel 21/86 (Kig Kbl 21/86): Eem-Interglazial, PZ 2-4, Weichselfrühglazial, Stadial, PZ WF x (Strahl in Vorb.)
200 - Kluge-Nord: Saalespätglazial, Eem-Interglazial, PZ 3-6 (Kühnert et al. 1989)
201 - KB Ww 5/2003 (KB Ww 1/2003): Saalespätglazial, Eem-Interglazial, PZ 2-9 (Strahl 2004g)
202 - Trassie: Eem-Interglazial, klassisch (Keilhack & Torgow 1922, Kosmie 1991)
203 - KB Ww 3/2003 (RKS Technitz/ SNv3/2003): Eem-Interglazial, PZ 2-9, Weichselfrühglazial, Stadial, WF I (Strahl 2004e)
204 - Steicheo: Eem-Interglazial, klassisch (Wahnschaffe 1885, Mirbeece 1958, Eid 1960b)
205 - Biemenwalde bei Rheinsberg (Keilhack 1883, Eid 1960b)
206 - Hy Heckelberg 1/72 (Eid 1973d)
207 - Hy Ob 30 (Keilhack 1915)
208 - Tgb. Cottbus-N 1989, südl. Transit-/Hochflachenrand (Eid 1992)

LEGENDE

- Eem, pollenanalytisch nachgewiesen
- Eem, pollenanalytisch nachgewiesen, vollständige Abfolge
- Eem, pollenanalytisch nachgewiesen, mit saalespätglazialen Anteilen
- Eem, pollenanalytisch nachgewiesen, mit weichselfrühglazialen Anteilen
- Eem, pollenanalytisch nachgewiesen, mit saalespät- und weichselfrühglazialen Anteilen
- klassische Eemvorkommen
- Eem wahrscheinlich (nach lithologischen Befunden)
- Hochflächen des Jungmoränengebiets
- Hochflächen des Altmoränengebiets
- Niederungsgebiete

Redaktionsschluss: 2008

Kartographische Bearbeitung: J.-U. Schmidt

Kartengrundlage: Topographische Landeskarte 1 : 300 000, Land Brandenburg
Nutzung mit Genehmigung der LGB BB, Nummer GB-G IV/2001

Vertrieb:
Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg
D-14532 Kleinmachnow, Stahnsdorfer Damm 77
Telefon: (033 203) 36 – 600; Telefax (033 203) 36 - 702
Internet: http://www.lbgr.brandenburg.de
E-Mail: vertrieb@lbgr-brandenburg.de

Hinweise:

Die Darstellungen in der Karte entbinden nicht von der Pflicht projektbezogener geologischer Untersuchungen.

Diese Karte ist gesetzlich geschützt. Vervielfältigungen nur mit Erlaubnis des Herausgebers. Als Vervielfältigungen gelten z.B. Nachdruck, Fotokopie, Mikroverfilmung, Digitalisieren, Scannen sowie Speicherung auf Datenträger.

Situationskarte zur Lage des Bundeslandes Brandenburg

Maßstab 1 : 300 000

1 cm der Karte entspricht 3 km der Natur

5 4 3 2 1 0 5 10 15 km

Karte der Eemvorkommen des Landes Brandenburg 1 : 300 000 | TS300_EEM | Cottbus 2008

Bearbeitungsunterlagen

Lithofaziskarte Quartär 1 : 50 000 (LKQ), Cepek et al. 1972-1989

unveröffentlichte Archivunterlagen des LBGR Brandenburg, der SenGesUmV Berlin und der Vattenfall Europe Mining AG

vgl. Legende

HERMSDORF, N. & J. STRAHL (2008): **Karte der Eem-Vorkommen des Landes Brandenburg**. - Brandenburg. geowiss. Beitr. **15**, 1/2, S. 23-55, Kleinmachnow

Wie in der Einleitung der oben genannten Publikation angeführt, sind diesem Anhang die im Text zu biostratigraphischen Vergleichszwecken herangezogenen und aus Platzgründen dort nicht abgebildeten Pollendiagramme (nochmalige Auflistung in Tabelle 1a zuzüglich des Profils Nedlitz 1A/87) zu entnehmen.

lfd. Nr. Karte	Nr. Abb.	Name der Bohrung/ des Aufschlusses	Autor	Lage
Nördliches Brandenburg (Altmoränengebiet Prignitz, Jungmoränengebiet Pommersches Stadium)				
2	8	KB **Schönermark** 1/02	STRAHL 2006d	Uckermark, Jungmoränengebiet Pommersches Stadium
4	9	KB **Potzlow** 2000	STRAHL 2006e	
6	10	Hy **Potzlow** 1/73 (Hy Pzl 1/74)	ERD 1978	
7	V	KB **Röpersdorf** 2/00	HERMSDORF & STRAHL 2006	
10	11	**Jakobsdorf** 15/77	ERD & FISCHER 1983	Prignitz, Altmoränengebiet
16	12	**Pritzwalk** 1/99	STRAHL 2000d	
22	13	C 61-10 Trasse Magnetschnellbahn (**Glöwen**)	STRAHL, unveröff.	
Westliches und Mittleres Brandenburg (Jungmoränengebiet Brandenburger Stadium)				
33	V	**Rathenow** 1	FREUND 2000	Untere Havelniederung, Jungmoränengebiet Brandenburger Stadium
48	14	TB **Pankow** 1/61 (BPaw 1/61)	SEIFERT 1969	Barnim, Jungmoränengebiet Brandenburger Stadium
67	V	Sandgrube **Kladow**, Westteil	BÖSE & BRANDE 1979	Brandenburg-Potsdamer-Havelgebiet, Jungmoränengebiet Brandenburger Stadium
74	15	Hy **Nedlitz** 1/92 (PNz 101/92, Hy P8/96)	STRAHL 2001	
104	16	Hy Cf **Luckenwalde** 55/71 (Hy Lw 55/71)	SEIFERT 1972	Nuthe-Notte-Niederung, Jungmoränengebiet Brandenburger Stadium
Östliches Brandenburg (Jungmoränengebiet Brandenburger Stadium, Baruther Urstromtal)				
40	17	**Ladeburg** 1E/61 (KB LadBn 1E/61)	ERD & STRAHL 2007	Barnim, Jungmoränengebiet Brandenburger Stadium
43	V	**Vevais**, Eisenbahnanschnitt	BROSE et al. 2006	
54	18	KB **Strausberg** 2007 (Kb Su 1/2007)	STRAHL 2007e	
136	19	KB **Oderin** 2/62 (Kb Odn 2/62)	ERD 1967a	Unterspreewald, Jungmoränengebiet Brandenburger Stadium
152	V	Kerkwitz-**Atterwasch** A 159/57 (T Atw A 159/57)	ERD 1960	Gubener Land, Jungmoränengebiet Brandenburger Stadium
164	V	**THW 1168 5/06**	KÜHNER et al. 2008	Hornoer Hochfläche, Jungmoränengebiet Brandenburger Stadium
175	20	**Cottbus Nord** 1706/71 (Brk CN 1706/71)	KÖHLER in STRAHL 2008b	Baruther Urstromtal
Südliches Brandenburg (Altmoränengebiet Fläming, Niederlausitz)				
143	21	**Oehna** 37/87 (KB Oea 37/87)	ERD 1987a, STRAHL 2008c	Niederer Fläming, Altmoränengebiet
148	7 E	KB **Borgisdorf** 1/06 (Kb Bgo 1/2006)	STRAHL 2008d	
155	22	Kt 8250/89 **Willmersdorf** (Brk Sla 8250/89)	ERD & STRAHL 2008	Niederlausitz, Altmoränengebiet
156	23	Brk Sla 8244/89 (**Egsdorf**)	STRAHL 2008e	
159	V	**Schönfeld** 1980	ERD 1991	
160	V	**Kittlitz** 3/59 (Kb Kti Ca 3/59)	ERD 1973	
166	24	SLA-M Kt 7847 ZA/89, **Bathow** (Brk Sla 7847ZA/88)	ERD & STRAHL 2008a	
167	6 E	**Eichow** 4/59	ERD 1960a, STRAHL 2007	
180	V	Geotop **Klinge**	STRAHL 2004, SEIFERT-EULEN 2007	
181	25	Eisenbahneinschnitt **Lug** 1966	ERD 1979a	
182	26	Kt 8778Z/88 **Gräbendorf-Reddern** (Brk Gäd 8778z/88)	ERD & STRAHL 2008b	
184	V	**Wolkenberg**	KÜHNER & STRAHL 2008	
185	V	**Rehnsdorf**		
195	27	Kieselgur **Jocksdorf** 29/86 (KigJof 29/86)	SEIFERT 1986	
196	28	Kieselgur **Jocksdorf** 23/85 (KigJof 23/85)		
201	29	KB Ww 5/2003 (KB Ww 1/2003, **Tschernitz**)	STRAHL 2004c	
-	30	**Nedlitz 1A/87** (Kig NzZe 1A/87)	STRAHL 2007f	Hoher Fläming, Altmoränengebiet (**Sachsen-Anhalt**)

Tab. 1a
Übersicht der zu pollenstratigraphischen Vergleichszwecken herangezogen Bohrungen und Aufschlüsse Brandenburgs und Berlins, V = Veröffentlichung, 6 E und 7 E = Abbildungsnummer im Erläuterungstext
Tab. 1a
Overview to bore holes and outcrops in the Berlin-Brandenburg area used for pollenstratigraphical comparison, V = publication, 6 E and 7 E = number of figure in commentary paper

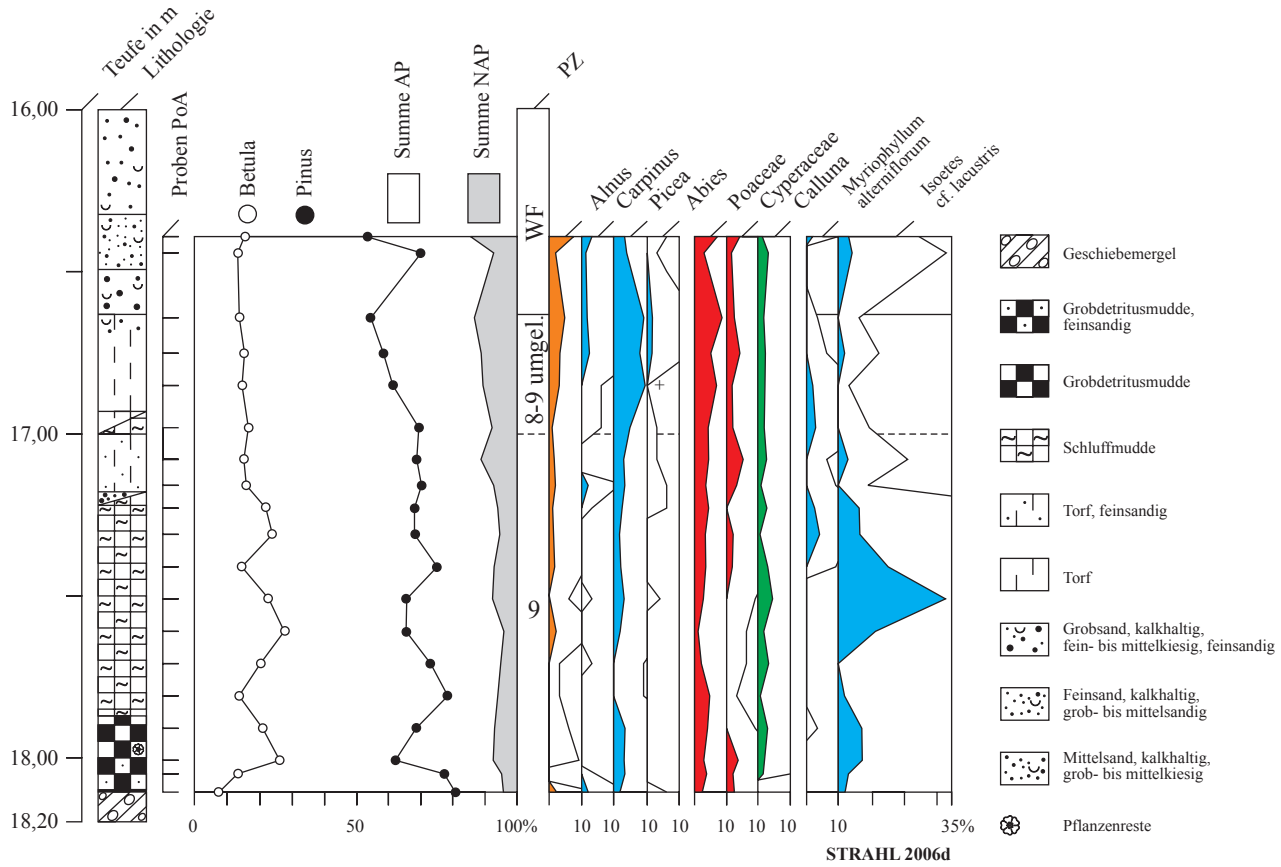


Abb. 8
Pollendiagramm der Bohrung Schönermark 1/02 (ausgewählte Taxa)
Gesamtpollensumme = AP + NAP = ± 335 = 100%, exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Sporen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, Werte <1% zehnfach überhöht, + = außerhalb der Grundsumme

Fig. 8
Pollen diagram of bore hole Schönermark 1/02 (selected taxa)
basis sum AP + NAP = ± 335 = 100%, excl. swamp- and waterplants, sporae, algae and other micro remains, values < 1% with tenfold exaggeration, + = out of basis sum

Abb. 9
Pollendiagramm der Bohrung Potzlow 2000 (ausgewählte Taxa)
Gesamtpollensumme = AP + NAP = ± 335 = 100%, exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Sporen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, Werte <1% zehnfach überhöht, + = außerhalb der Grundsumme

Fig. 9
Pollen diagram of bore hole Potzlow 2000 (selected taxa)
basis sum AP + NAP = ± 335 = 100%, excl. swamp- and waterplants, sporae, algae and other micro remains, values < 1% with tenfold exaggeration, + = out of basis sum

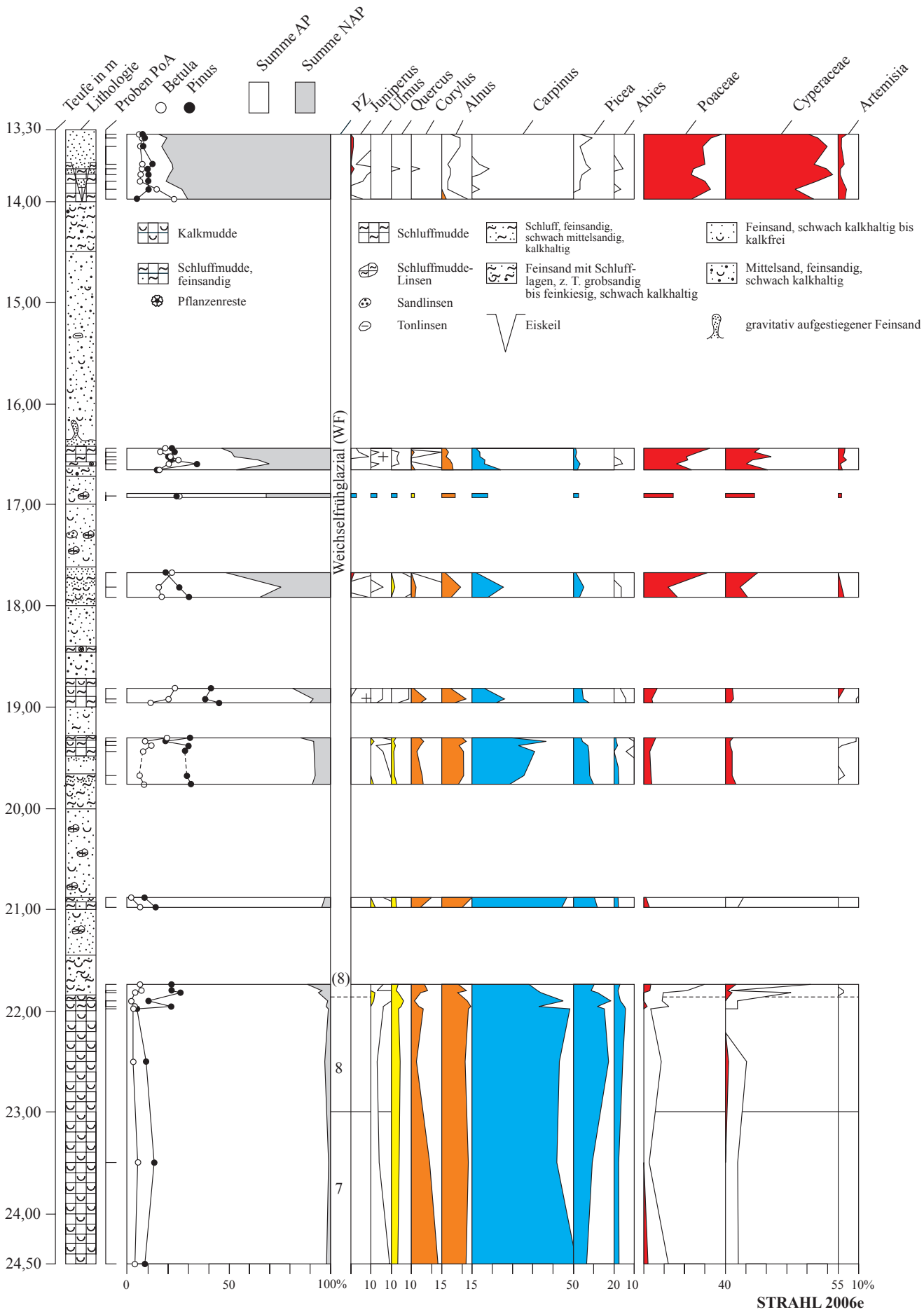

Teufe in m
Lithologie
Proben PoA
Betula
Pinus
Summe AP
Summe NAP
PZ
Juniperus
Ulmus
Quercus
Corylus
Alnus
Carpinus
Picea
Abies
Poaceae
Cyperaceae
Artemisia
13,30
14,00
15,00
16,00
17,00
18,00
19,00
20,00
21,00
22,00
23,00
24,00
24,50
Kalkmudde
Schluffmudde, feinsandig
Pflanzenreste
Schluffmudde
Schluffmudde-Linsen
Sandlinsen
Tonlinsen
Schluff, feinsandig, schwach mittelsandig, kalkhaltig
Feinsand mit Schlufflagen, z. T. grobsandig bis feinkiesig, schwach kalkhaltig
Eiskeil
Feinsand, schwach kalkhaltig bis kalkfrei
Mittelsand, feinsandig, schwach kalkhaltig
gravitativ aufgestiegener Feinsand
Weichselfrühglazial (WF)
(8)
8
7
0
50
100%
10 10 10 15 15
50
20 10
40
55 10%
STRAHL 2006e

Abb. 10

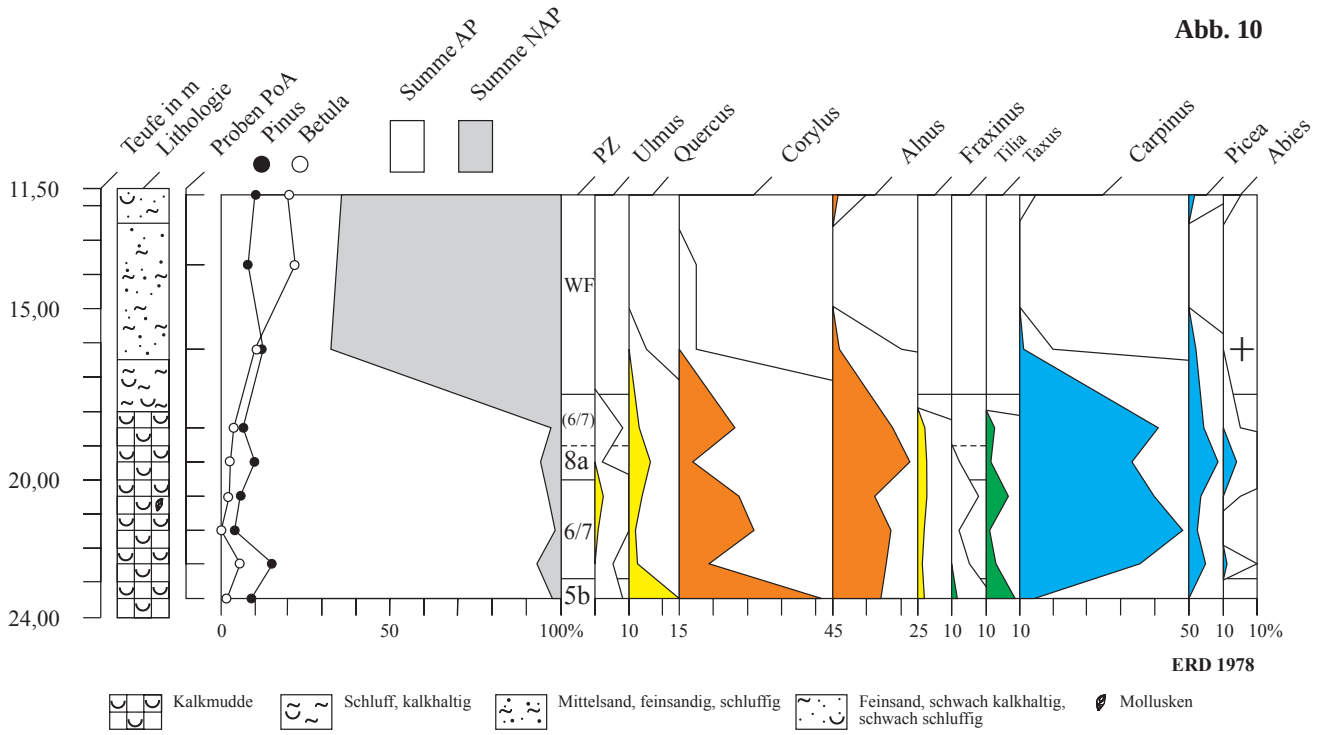

Teufe in m
Lithologie
Proben PoA
Pinus
Betula
Summe AP
Summe NAP
PZ
Ulmus
Quercus
Corylus
Alnus
Fraxinus
Tilia
Taxus
Carpinus
Picea
Abies
11,50
15,00
20,00
24,00
WF
(6/7)
8a
6/7
5b
0
50
100%
10
15
45
25
10
10
10
50
10
10%
ERD 1978
Kalkmudde
Schluff, kalkhaltig
Mittelsand, feinsandig, schluffig
Feinsand, schwach kalkhaltig, schwach schluffig
Mollusken

Abb. 11

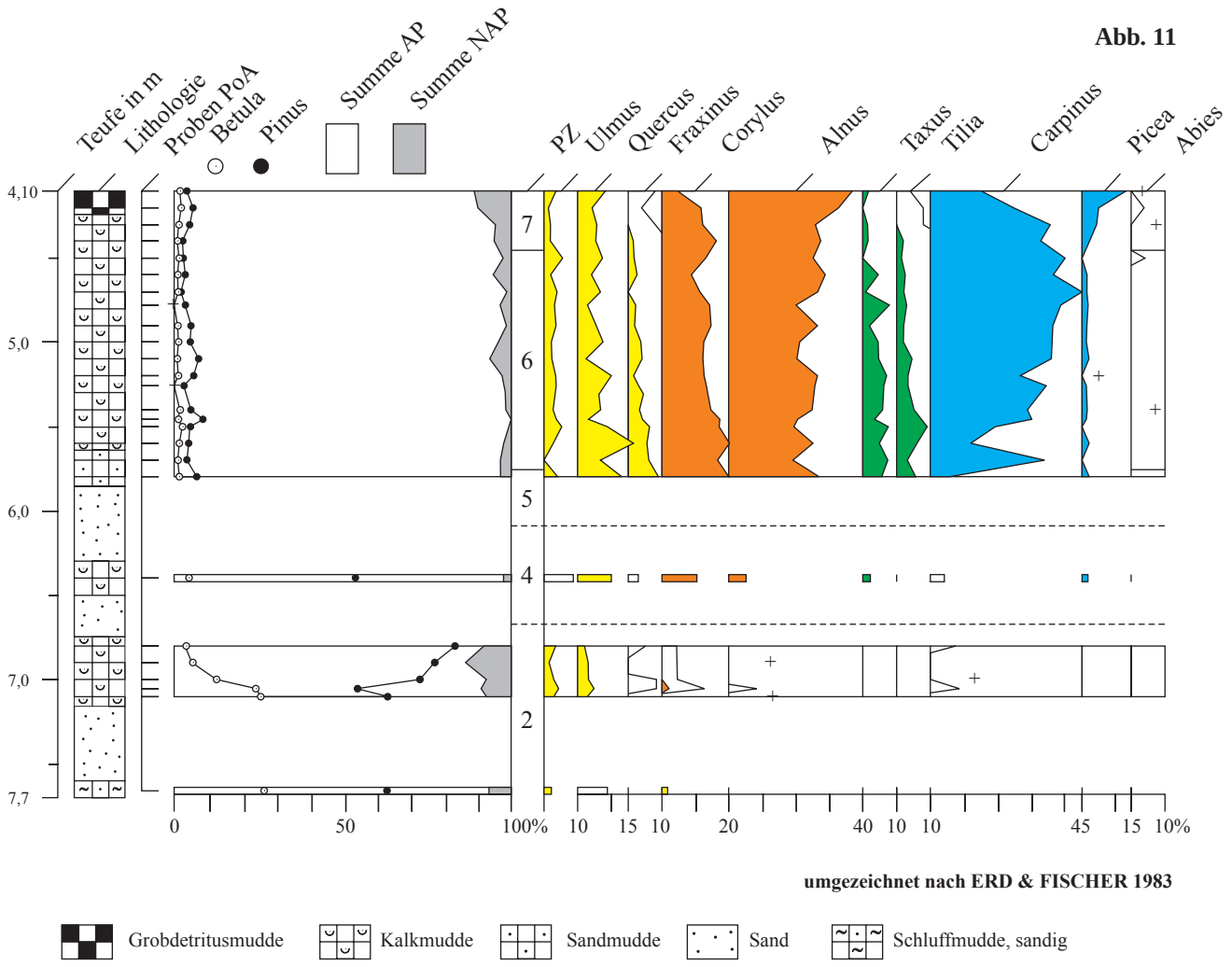

Teufe in m
Lithologie
Proben PoA
Betula
Pinus
Summe AP
Summe NAP
PZ
Ulmus
Quercus
Fraxinus
Corylus
Alnus
Taxus
Tilia
Carpinus
Picea
Abies
4,10
5,0
6,0
7,0
7,7
7
6
5
4
2
0
50
100%
10
15
10
20
40
10
10
45
15
10%
umgezeichnet nach ERD & FISCHER 1983
Grobdetritusmudde
Kalkmudde
Sandmudde
Sand
Schluffmudde, sandig

Abb. 10
Pollendiagramm der Bohrung Hy Potzlow 1/73 (ausgewählte Taxa)
Gesamtpollensumme = AP + NAP = ± 250 = 100%, exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Sporen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, Werte <1% zehnfach überhöht, + = außerhalb der Grundsumme

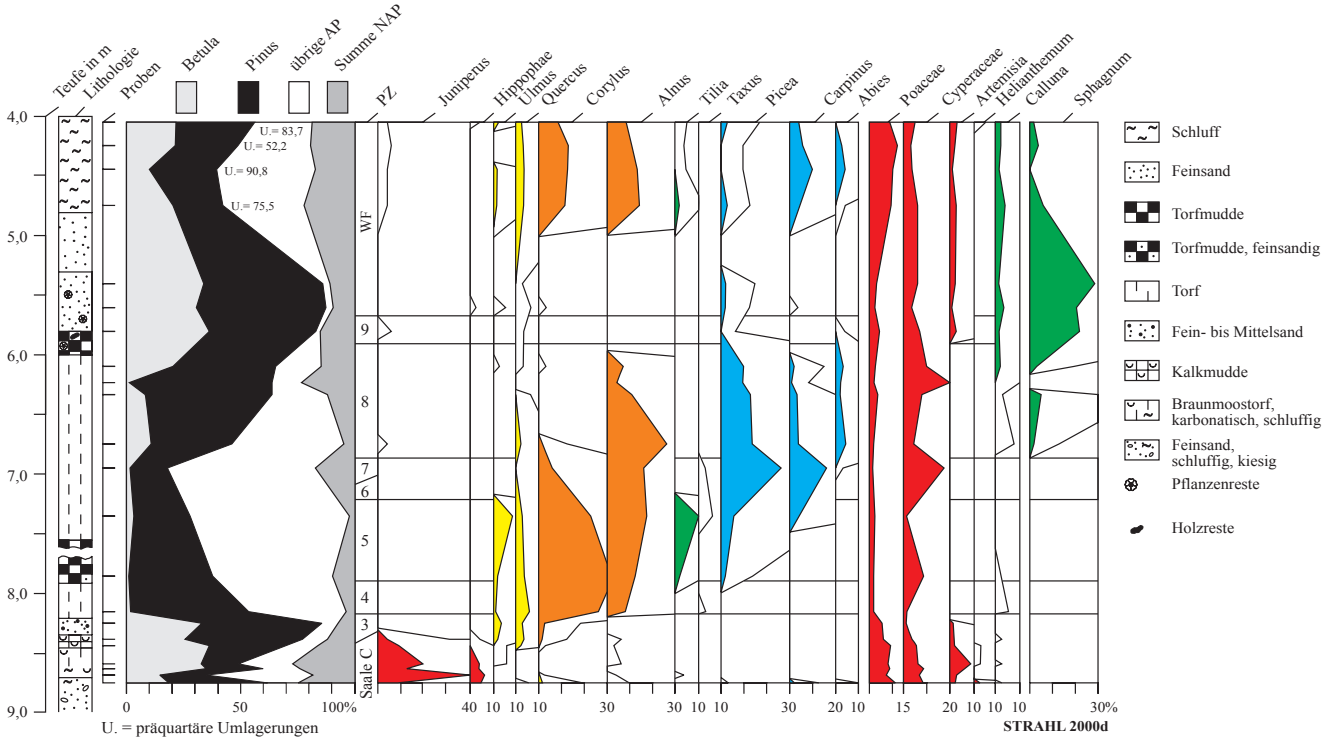
Fig. 10
Pollen diagram of bore hole Hy Potzlow 1/73 (selected taxa)
basis sum AP + NAP = ± 250 = 100%, excl. swamp- and waterplants, sporae, algae and other micro remains, values < 1% with tenfold exaggeration, + = out of basis sum

Abb. 11
Pollendiagramm der Bohrung Jakobsdorf 15/77 (ausgewählte Taxa)
Gesamtpollensumme = AP + NAP = ± 250 = 100%, exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Sporen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, Werte <1% zehnfach überhöht, + = außerhalb der Grundsumme

Fig. 11
Pollen diagram of bore hole Jakobsdorf 15/77 (selected taxa)
basis sum AP + NAP = ± 250 = 100%, excl. swamp- and waterplants, sporae, algae and other micro remains, values < 1% with tenfold exaggeration, + = out of basis sum

Abb. 12
Pollendiagramm der Bohrung Pritzwalk 1/99 (ausgewählte Taxa)
Gesamtpollensumme = AP + NAP = ± 335 = 100%, exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Sporen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, Werte <1% zehnfach überhöht, + = außerhalb der Grundsumme

Fig. 12
Pollen diagram of bore hole Pritzwalk 1/99 (selected taxa)
basis sum AP + NAP = ± 335 = 100%, excl. swamp- and waterplants, sporae, algae and other micro remains, values < 1% with tenfold exaggeration, + = out of basis sum



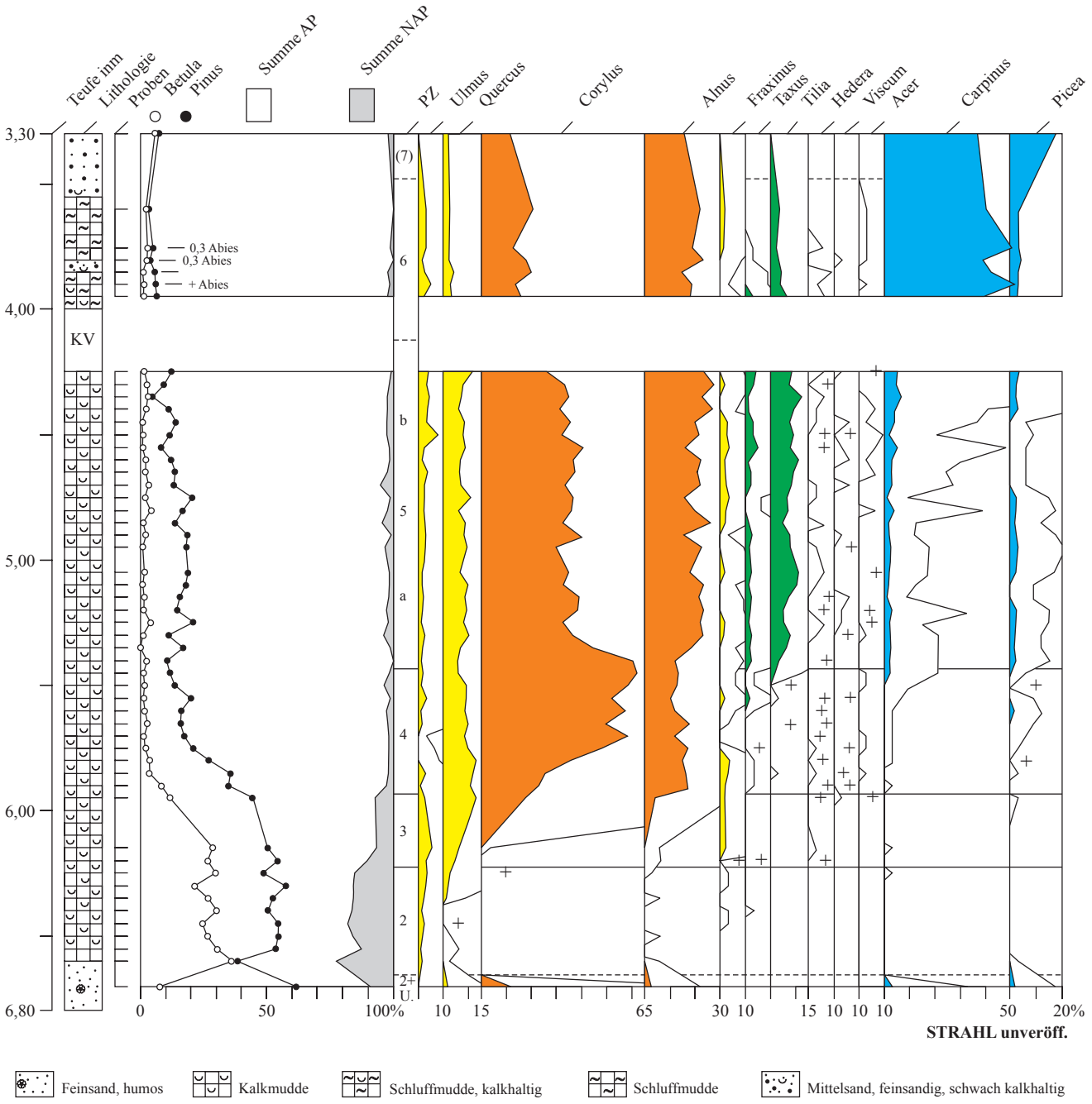


Abb. 13
Pollendiagramm der Bohrung C 61-10 Glöwen (ausgewählte Taxa)
Gesamtpollensumme = AP + NAP = ± 335 = 100%, exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Sporen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, Werte <1% zehnfach überhöht, + = außerhalb der Grundsumme

Fig. 13
Pollen diagram of bore hole C 61-10 Glöwen (selected taxa)
basis sum AP + NAP = ± 335 = 100%, excl. swamp- and waterplants, sporae, algae and other micro remains, values < 1% with tenfold exaggeration, + = out of basis sum

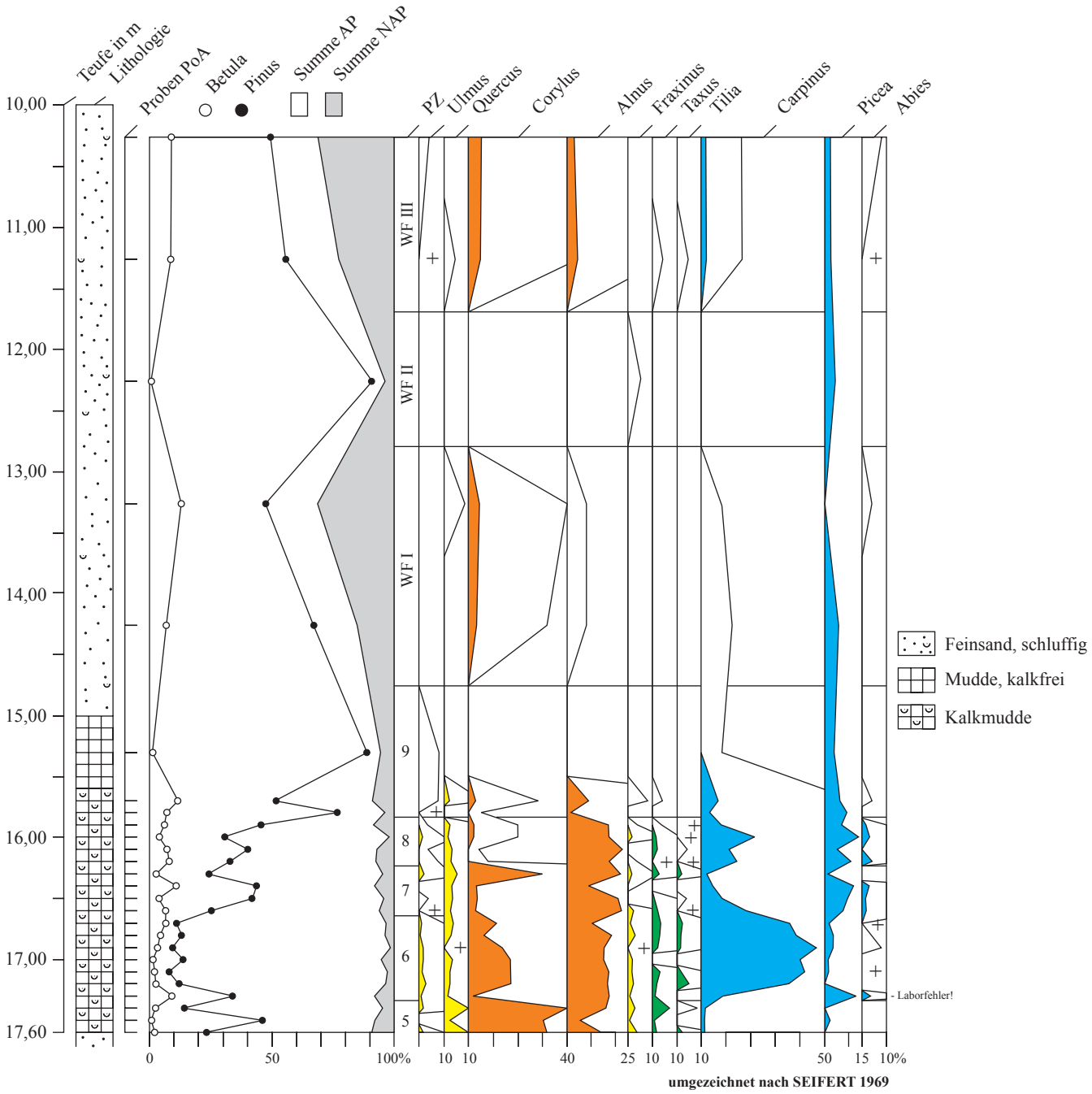


Abb. 14
Pollendiagramm der Bohrung Pankow 1/61 (ausgewählte Taxa)
Gesamtpollensumme = AP + NAP = ± 250 = 100%, exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Sporen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, Werte <1% zehnfach überhöht, + = außerhalb der Grundsumme

Fig. 14
Pollen diagram of bore hole Pankow 1/61 (selected taxa)
basis sum AP + NAP = ± 250 = 100%, excl. swamp- and waterplants, sporae, algae and other micro remains, values < 1% with tenfold exaggeration, + = out of basis sum

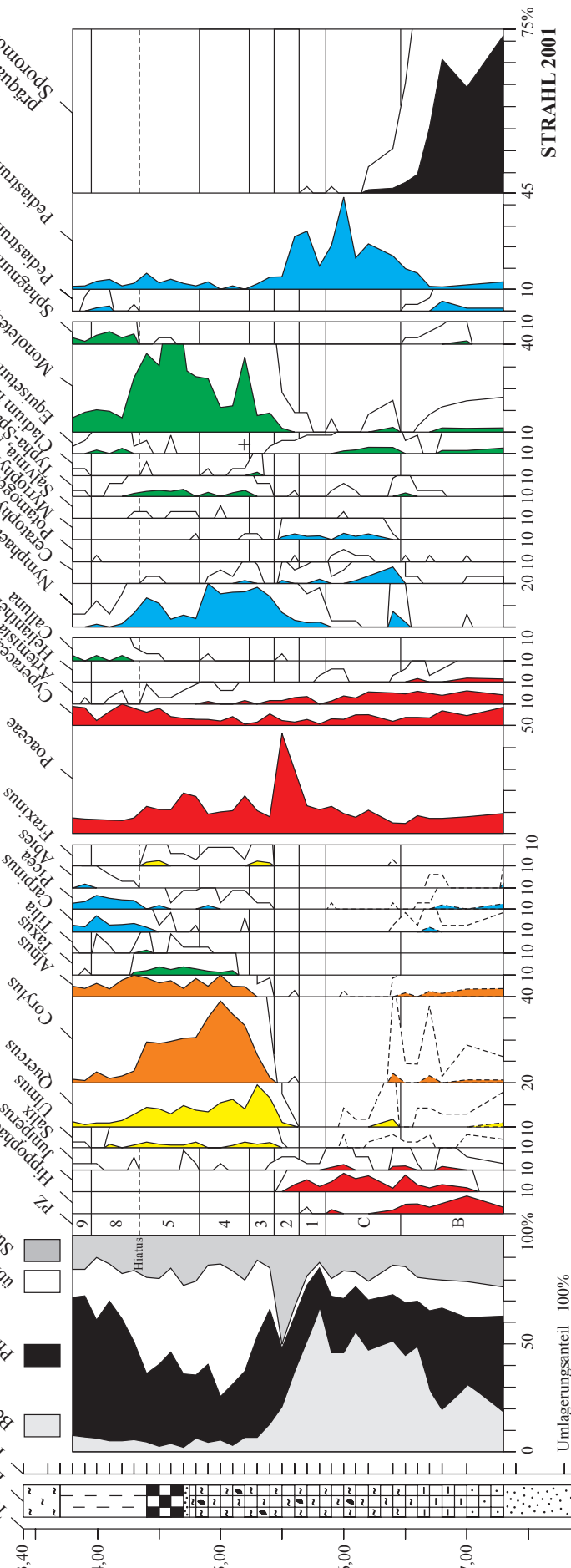


Abb. 15
Pollendiagramm der Bohrung Hy Nedlitz 1/92 (ausgewählte Taxa)
Gesamtpollensumme = AP + NAP = ± 335 = 100%, exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Sporen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, Werte <1% zehnfach überhöht,
+ = außerhalb der Grundsumme

Fig. 15
Pollen diagram of bore hole Hy Nedlitz 1/92 (selected taxa)
basis sum AP + NAP = ± 335 = 100%, excl. swamp- and waterplants, sporae, algae and other micro remains, values < 1% with tenfold exaggeration, + = out of basis sum

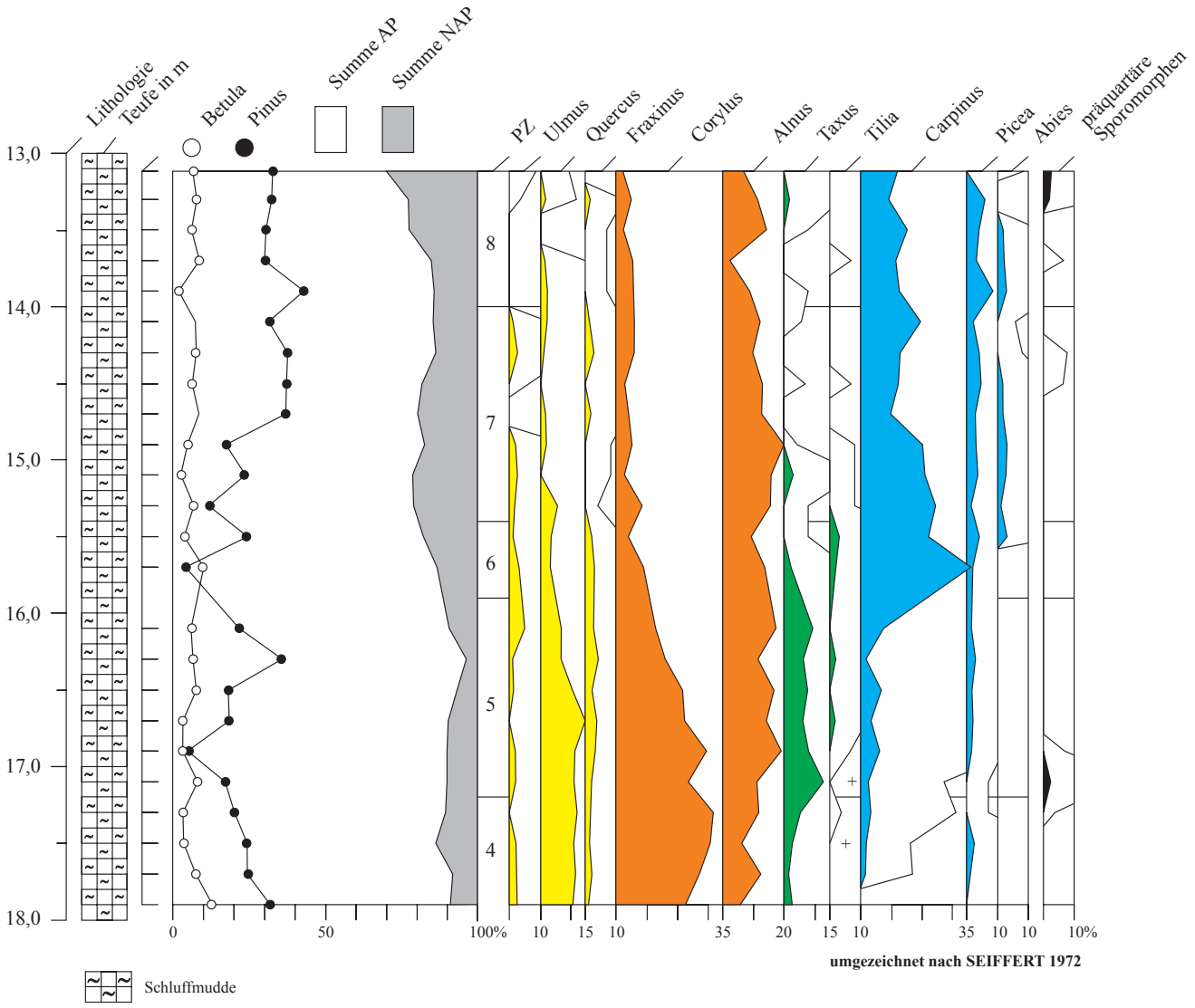


Abb. 16
Pollendiagramm der Bohrung Hy Cf Luckenwalde 55/71 (ausgewählte Taxa)
Gesamtpollensumme = AP + NAP = ± 250 = 100%, exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Sporen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, Werte <1% zehnfach überhöht, + = außerhalb der Grundsumme

Fig. 16
Pollen diagram of bore hole Hy Cf Luckenwalde 55/71 (selected taxa)
basis sum AP + NAP = ± 250 = 100%, excl. swamp- and waterplants, sporae, algae and other micro remains, values < 1% with tenfold exaggeration, + = out of basis sum

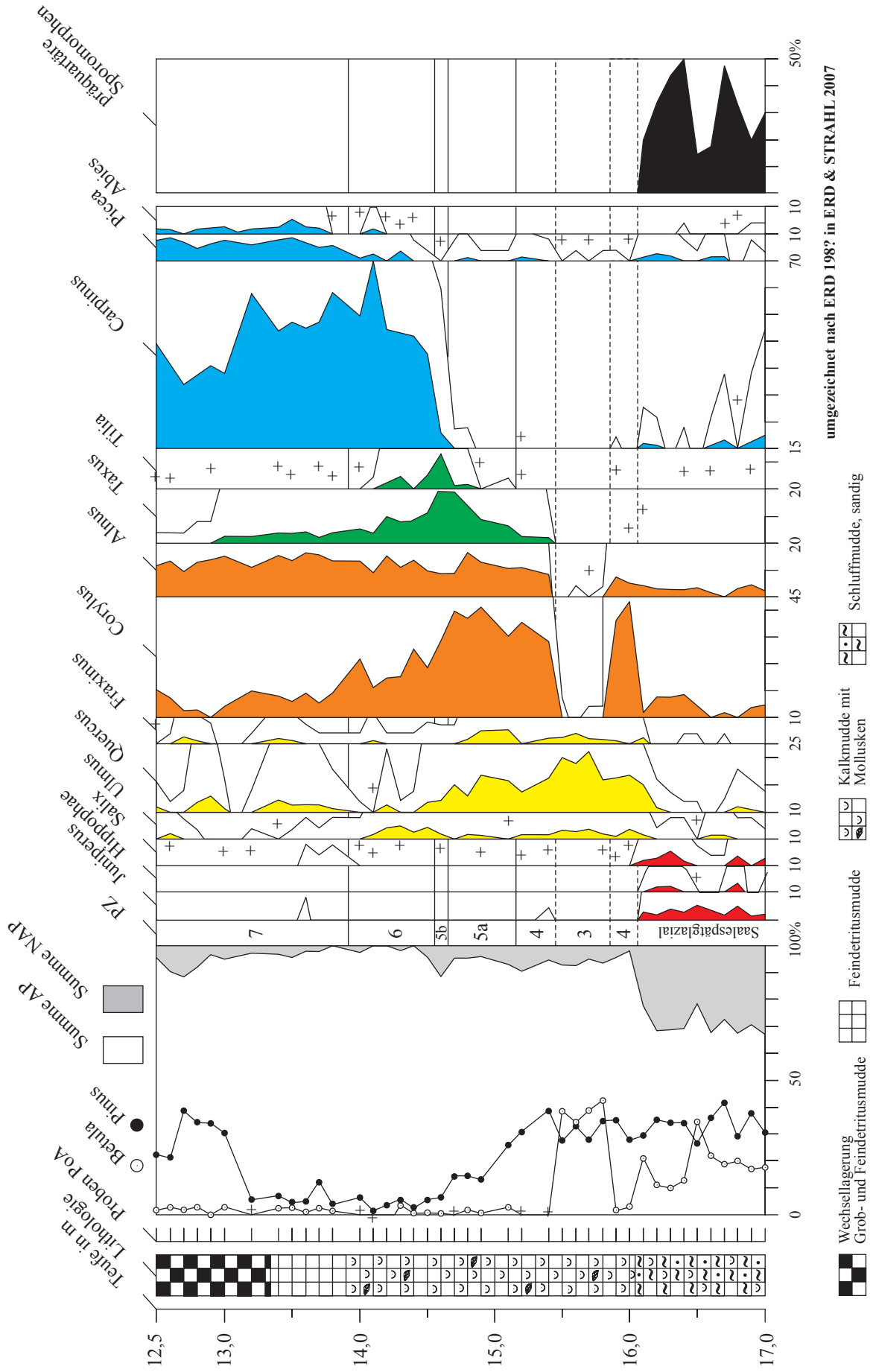


Abb. 17
Pollendiagramm der Bohrung Ladeburg 1E/61 (ausgewählte Taxa)
Gesamtpollensumme = AP + NAP = ± 250 = 100%, exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Sporen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, Werte <1% zehnfach überhöht, + = außerhalb der Grundsumme

Fig. 17
Pollen diagram of bore hole Ladeburg 1E/61 (selected taxa)
basis sum AP + NAP = ± 250 = 100%, excl. swamp- and waterplants, sporae, algae and other micro remains, values < 1% with tenfold exaggeration, + = out of basis sum

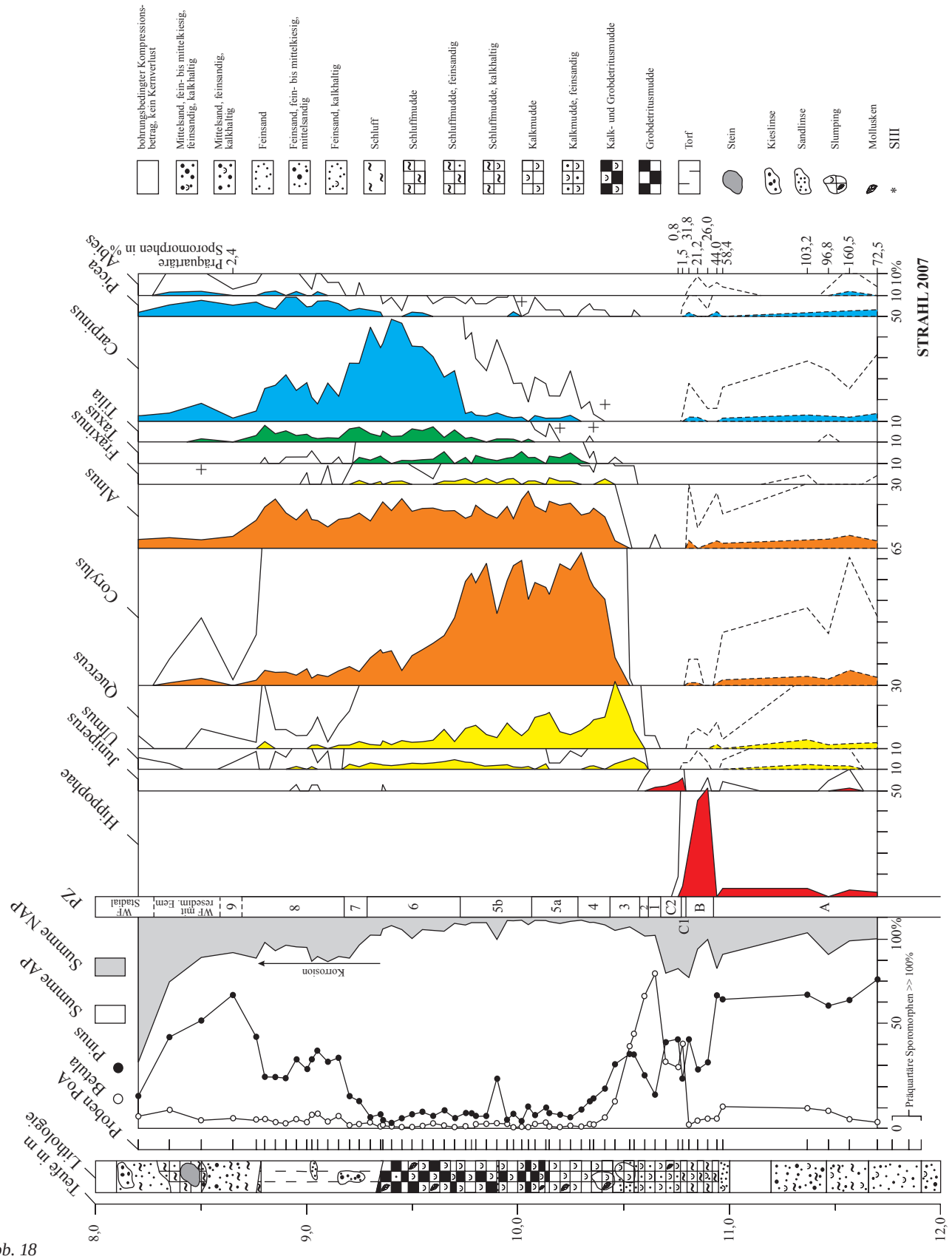


Abb. 18
Pollendiagramm der Bohrung Strausberg 2007 (ausgewählte Taxa)
Gesamtpollensumme = AP + NAP = ± 335 = 100%, exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Sporen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, Werte <1% zehnfach überhöht, + = außerhalb der Grundsumme

Fig. 18
Pollen diagram of bore hole Strausberg 2007 (selected taxa)
basis sum AP + NAP = ± 335 = 100%, excl. swamp- and waterplants, sporae, algae and other micro remains, values < 1% tenfold exaggeration, + = out of basis sum

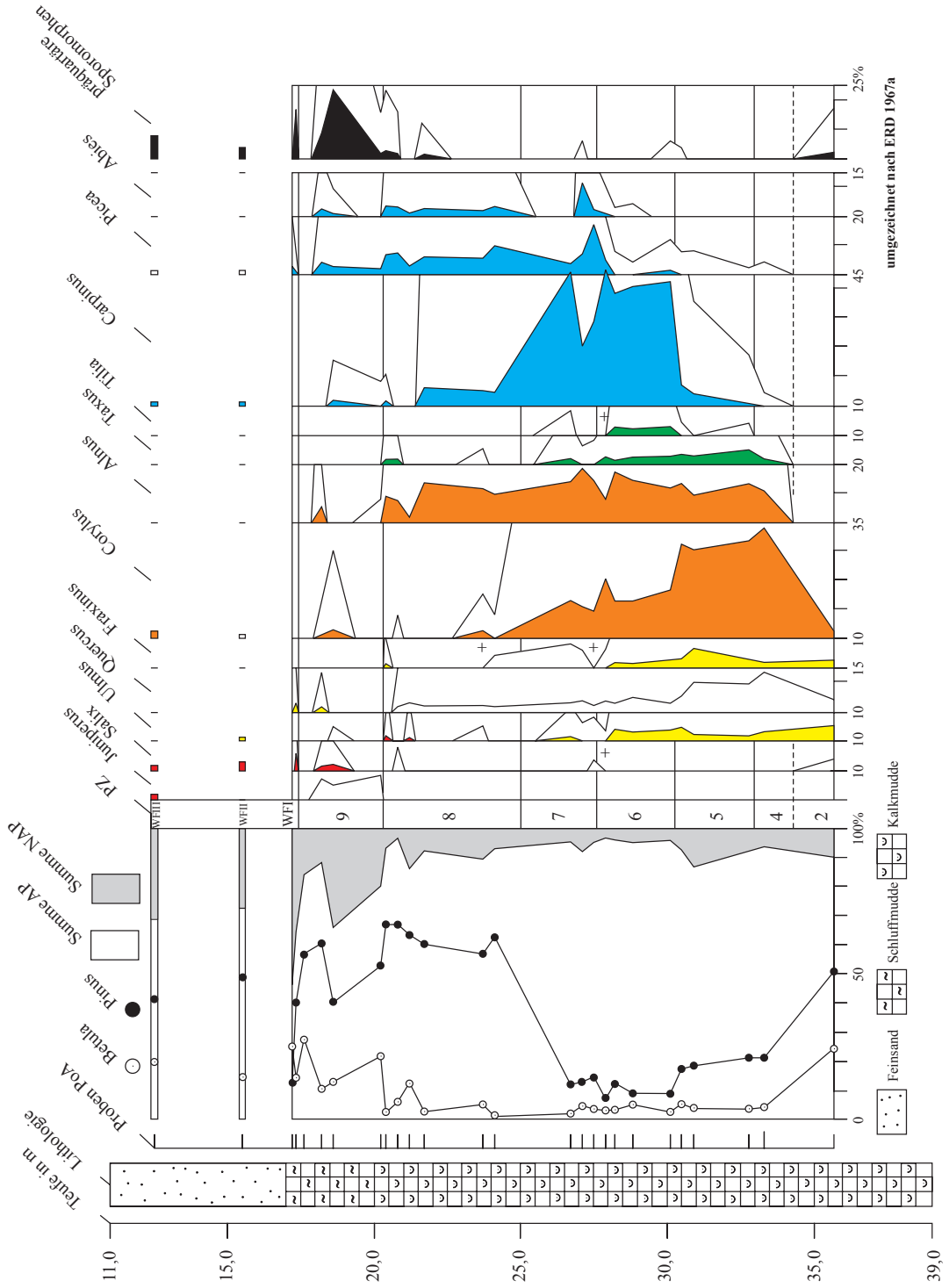


Abb. 19
Pollendiagramm der Bohrung Oderin 2/62 (ausgewählte Taxa)
Gesamtpollensumme = AP + NAP = ± 250 = 100%, exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Sporen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, Werte <1% zehnfach überhöht, + = außerhalb der Grundsumme

Fig. 19
Pollen diagram of bore hole Oderin 2/62 (selected taxa)
basis sum AP + NAP = ± 250 = 100%, excl. swamp- and waterplants, sporae, algae and other micro remains, values < 1% with tenfold exaggeration, + = out of basis sum

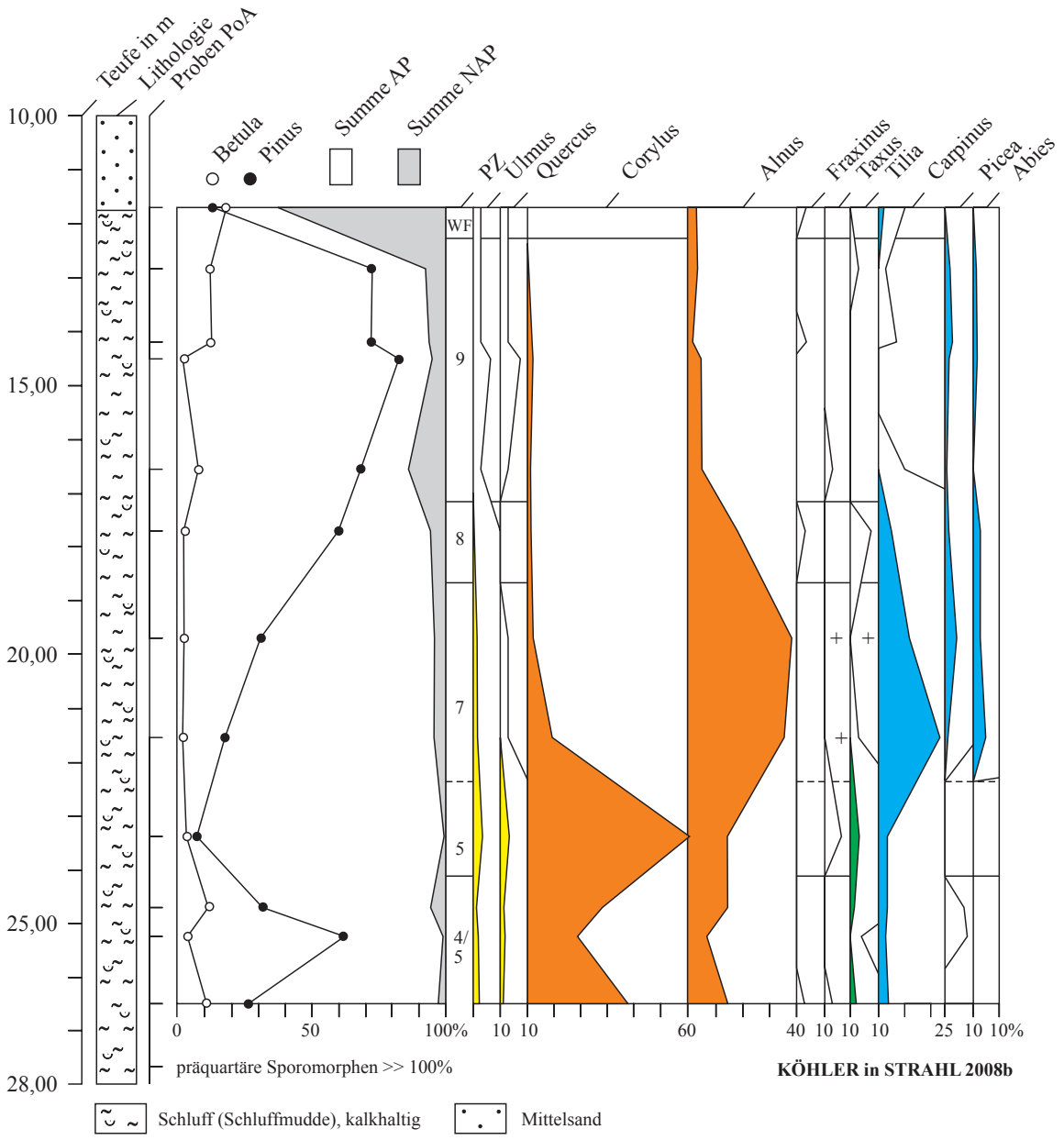


Abb. 20
Pollendiagramm der Bohrung Cottbus Nord 1706/71 (ausgewählte Taxa)
Gesamtpollensumme = AP + NAP = ± 250 = 100%, exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Sporen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, Werte <1% zehnfach überhöht, + = außerhalb der Grundsumme

Fig. 20
Pollen diagram of bore hole Cottbus Nord 1706/71 (selected taxa)
basis sum AP + NAP = ± 250 = 100%, excl. swamp- and waterplants, sporae, algae and other micro remains, values < 1% with tenfold exaggeration, + = out of basis sum

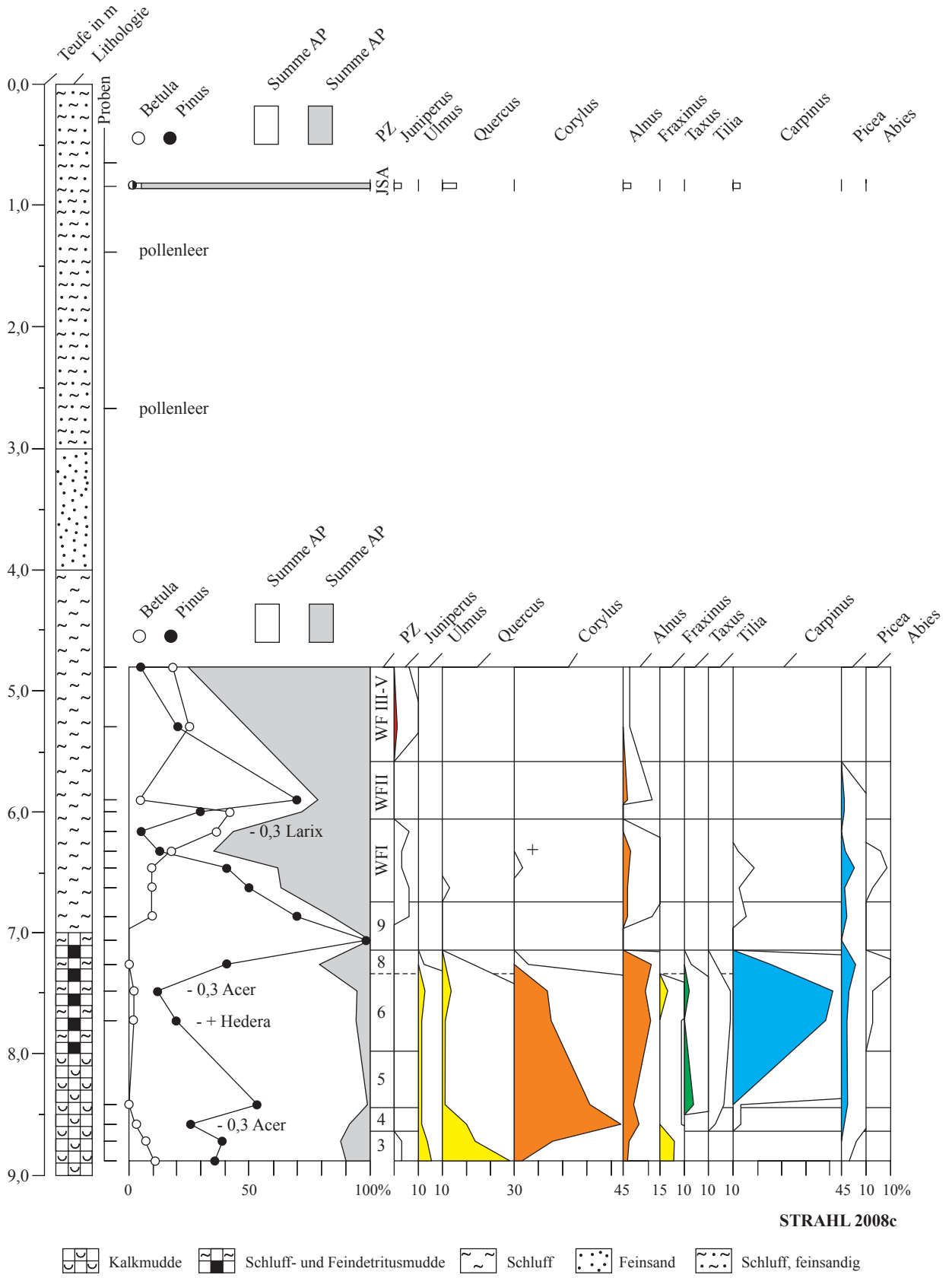


Abb. 21
Pollendiagramm der Bohrung Oehna 37/87 (ausgewählte Taxa)
Gesamtpollensumme = AP + NAP = ± 335 = 100%, exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Sporen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, Werte <1% zehnfach überhöht, + = außerhalb der Grundsumme

Fig. 21
Pollen diagram of bore hole Oehna 37/87 (selected taxa)
basis sum AP + NAP = ± 335 = 100%, excl. swamp- and waterplants, sporae, algae and other micro remains, values < 1% with tenfold exaggeration, + = out of basis sum

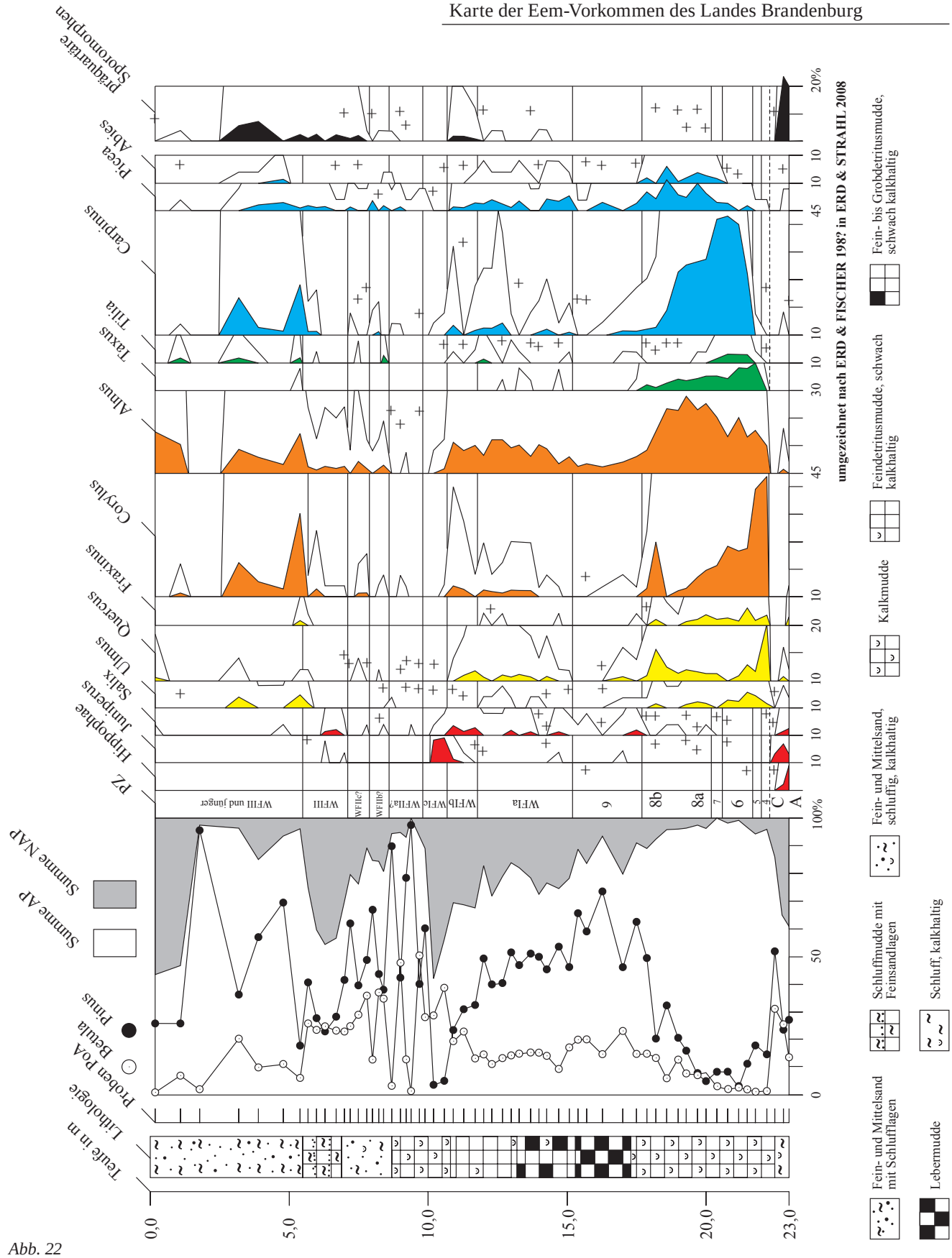


Abb. 22
Pollendiagramm der Bohrung Kt 8250/89 Willmersdorf (ausgewählte Taxa)
Gesamtpollensumme = AP + NAP = ± 250 = 100%, exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Sporen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, Werte <1% zehnfach überhöht, + = außerhalb der Grundsumme

Fig. 22
Pollen diagram of bore hole Kt 8250/89 Willmersdorf (selected taxa)
basis sum AP + NAP = ± 250 = 100%, excl. swamp- and waterplants, sporae, algae and other micro remains, values < 1% with tenfold exaggeration, + = out of basis sum

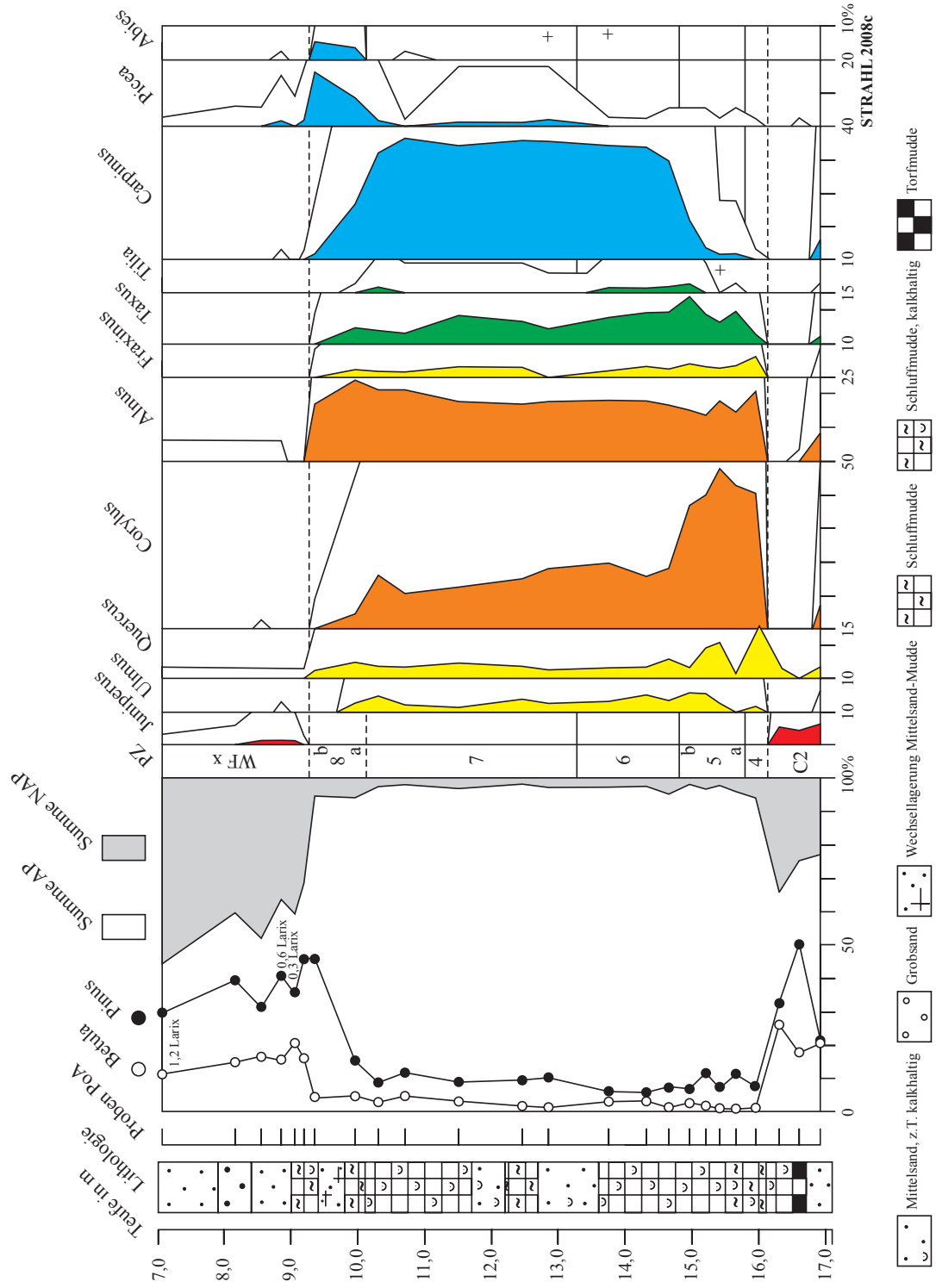


Abb. 23
Pollendiagramm der Bohrung Brk Sla 8244/89 Egsdorf (ausgewählte Taxa)
Gesamtpollensumme = AP + NAP = ± 335 = 100%, exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Sporen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, Werte <1% zehnfach überhöht, + = außerhalb der Grundsumme

Fig. 23
Pollen diagram of bore hole Brk Sla 8244/89 Egsdorf (selected taxa)
basis sum AP + NAP = ± 335 = 100%, excl. swamp- and waterplants, sporae, algae and other micro remains, values < 1% with tenfold exaggeration, + = out of basis sum

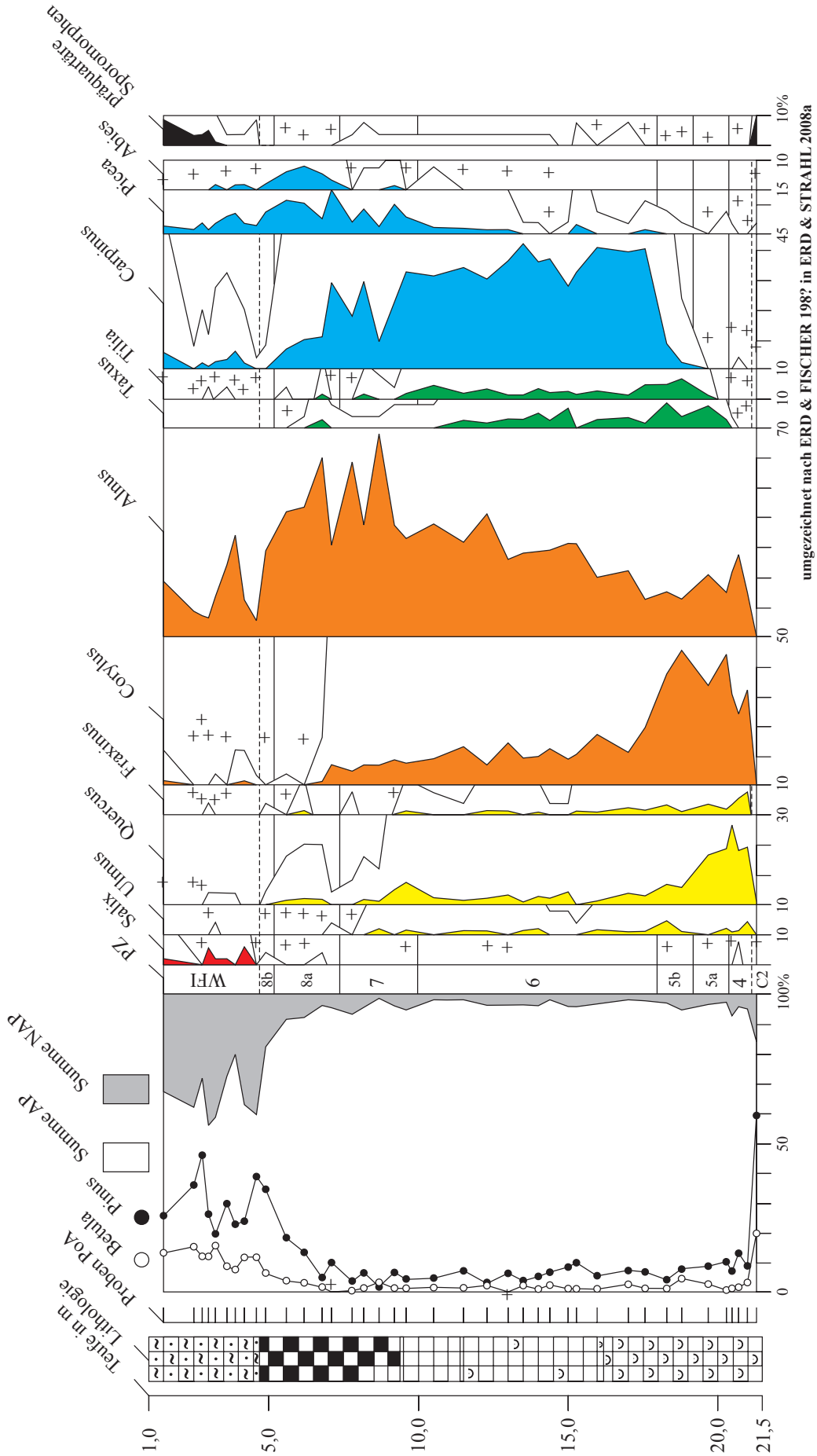


Abb. 24
Pollendiagramm der Bohrung SLA-M Kt 7847 ZA/89 Bathow (ausgewählte Taxa)
Gesamtpollensumme = AP + NAP = ± 250 = 100%, exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Sporen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, Werte <1% zehnfach überhöht, + = außerhalb der Grundsumme

Fig. 24
Pollen diagram of bore hole SLA-M Kt 7847 ZA/89 Bathow (selected taxa)
basis sum AP + NAP = ± 250 = 100%, excl. swamp- and waterplants, sporae, algae and other micro remains, values < 1% with tenfold exaggeration, + = out of basis sum

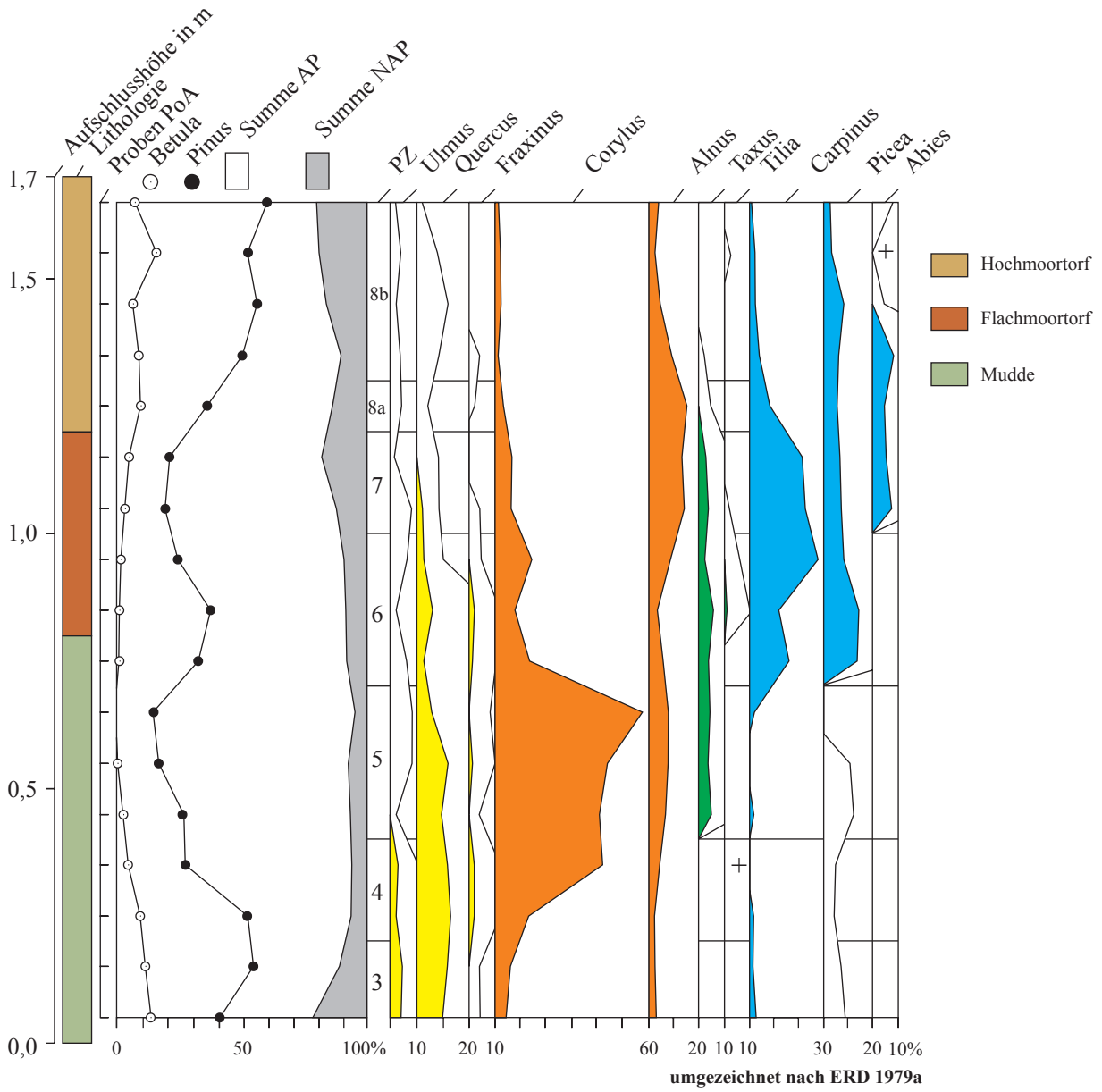
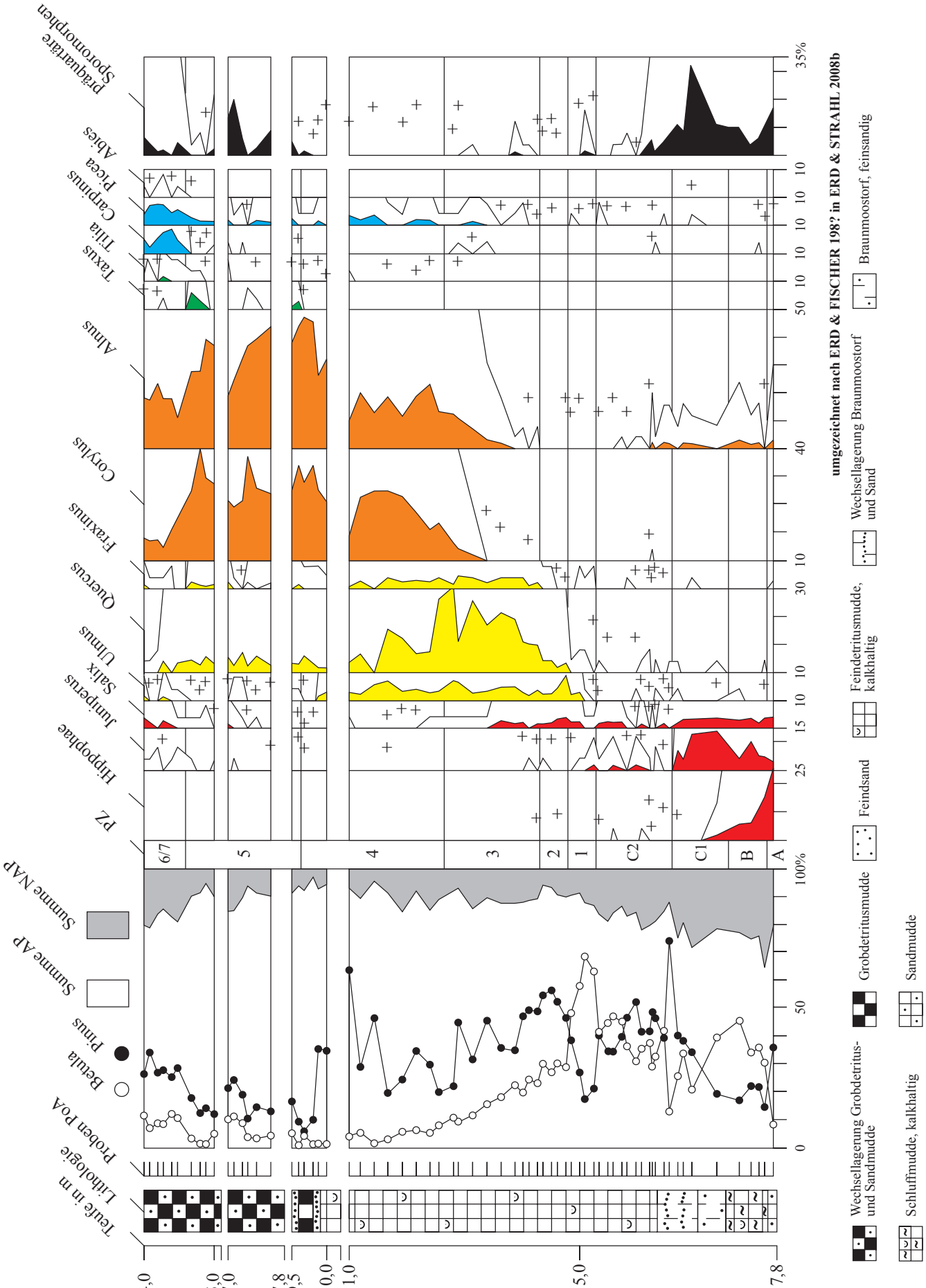


Abb. 25
Pollendiagramm des Aufschlusses Eisenbahneinschitt Lug 1966 (ausgewählte Taxa)
Gesamtpollensumme = AP + NAP = ± 250 = 100%, exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Sporen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, Werte <1% zehnfach überhöht, + = außerhalb der Grundsumme

Fig. 25
Pollen diagram of outcrop Lug 1966 (selected taxa)
basis sum AP + NAP = ± 250 = 100%, excl. swamp- and waterplants, sporae, algae and other micro remains, values < 1% with tenfold exaggeration, + = out of basis sum

Abb. 26
Pollendiagramm der Bohrung Kt 8778 Z/88 Reddern (ausgewählte Taxa)
Gesamtpollensumme = AP + NAP = ± 250 = 100%, exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Sporen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, Werte <1% zehnfach überhöht, + = außerhalb der Grundsumme

Fig. 26
Pollen diagram of bore hole Kt 8778 Z/88 Reddern (selected taxa)
basis sum AP + NAP = ± 250 = 100%, excl. swamp- and waterplants, sporae, algae and other micro remains, values < 1% with tenfold exaggeration, + = out of basis sum


Teufe in m
Lithologie
Proben PoA
Betula
Pinus
Summe AP
Summe NAP
PZ
Hippophae
Juniperus
Salix
Ulmus
Quercus
Fraxinus
Corylus
Alnus
Taxus
Tilia
Carpinus
Picea
Abies
Pragnartige Sporomorphen
4,0
5,0
7,0
7,8
9,5
10,0
11,0
15,0
17,8
6/7
5
4
3
2
1
C2
C1
B
A
0
50
100%
25
15
10
30
40
50
10
10
10
10
10
10
10
35%
umgezeichnet nach ERD & FISCHER 198? in ERD & STRAHL 2008b
Wechsellagerung Grobdetritus- und Sandmudde
Grobdetritusmudde
Feindetritusmudde, kalkhaltig
Wechsellagerung Braunmoostorf und Sand
Braunmoostorf, feinsandig
Schluffmudde, kalkhaltig
Sandmudde
Feindsand

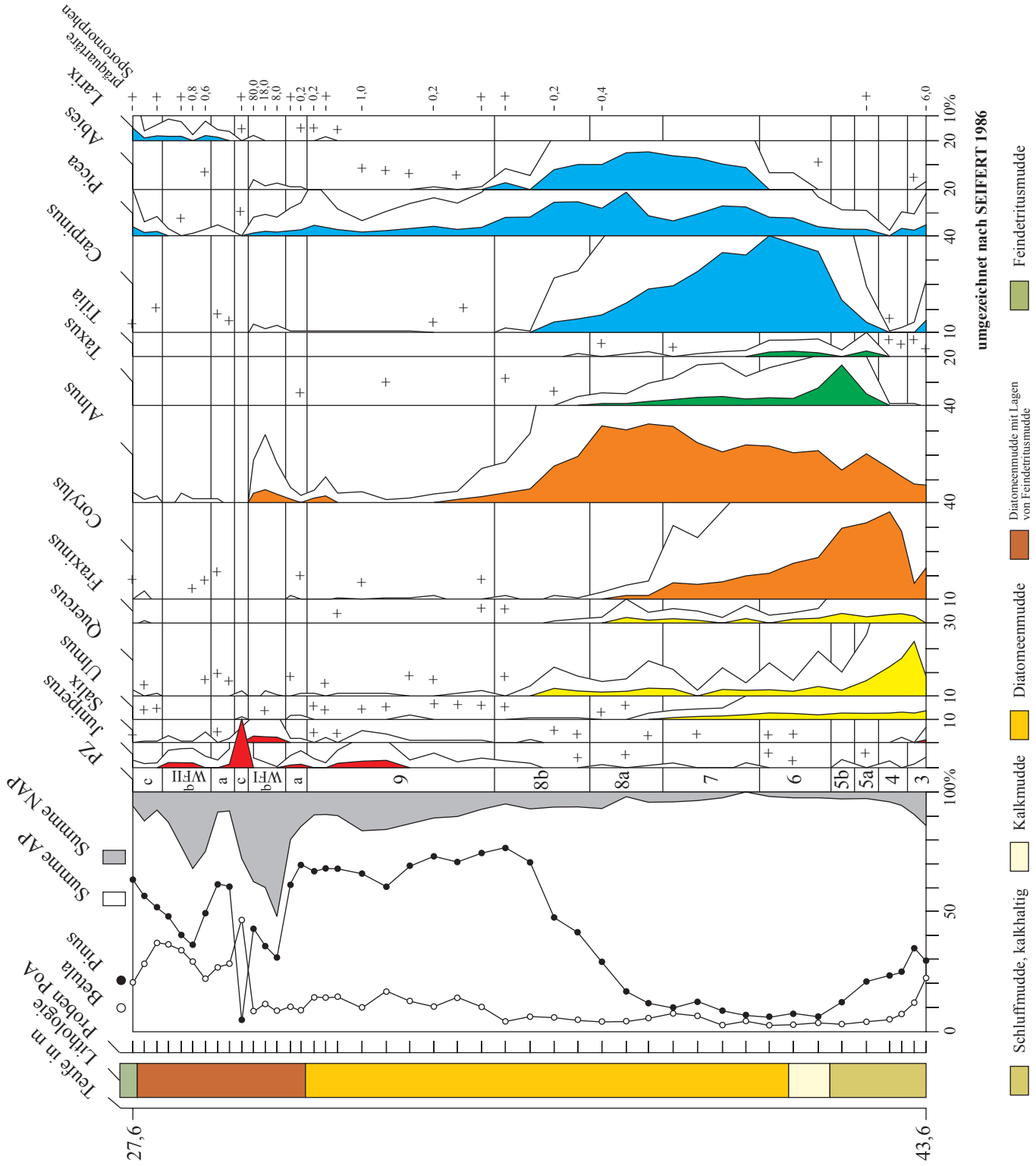


Abb. 27
Pollendiagramm der Bohrung Kieselgur Jocksdorf 29/86 (ausgewählte Taxa)
Gesamtpollensumme = AP + NAP = ± 250 (Weichsel-Glazial) bzw. 500 = 100%, exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Sporen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, Werte <1% fünffach überhöht, + = außerhalb der Grundsumme

Fig. 27
Pollen diagram of bore hole Kieselgur Jocksdorf 29/86 (selected taxa)
basis sum AP + NAP = ± 250 (Weichselian) rather 500 (Eemian) = 100%, excl. swamp- and waterplants, sporae, algae and other micro remains, values < 1% with fivefold exaggeration, + = out of basis sum

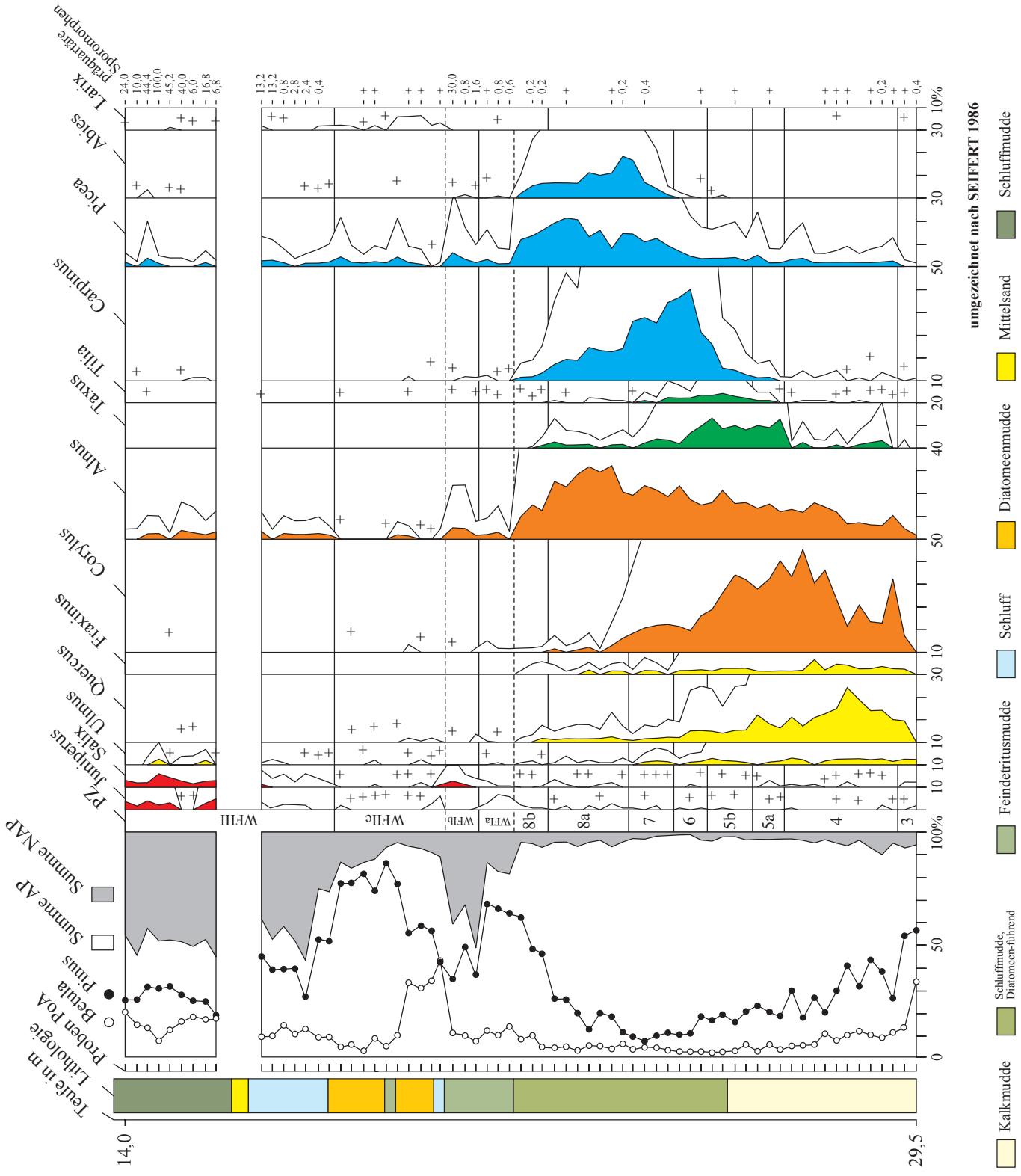


Abb. 28
Pollendiagramm der Bohrung Kieselgur Jocksdorf 23/85 (ausgewählte Taxa)
Gesamtpollensumme = AP + NAP = ± 250 (Weichsel-Glazial) bzw. 500 = 100%, exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Sporen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, Werte <1% fünffach überhöht, + = außerhalb der Grundsumme

Fig. 28
Pollen diagram of bore hole Kieselgur Jocksdorf 23/85 (selected taxa)
basis sum AP + NAP = ± 250 (Weichselian) rather 500 (Eemian) = 100%, excl. swamp- and waterplants, sporae, algae and other micro remains, values < 1% with fivefold exaggeration, + = out of basis sum

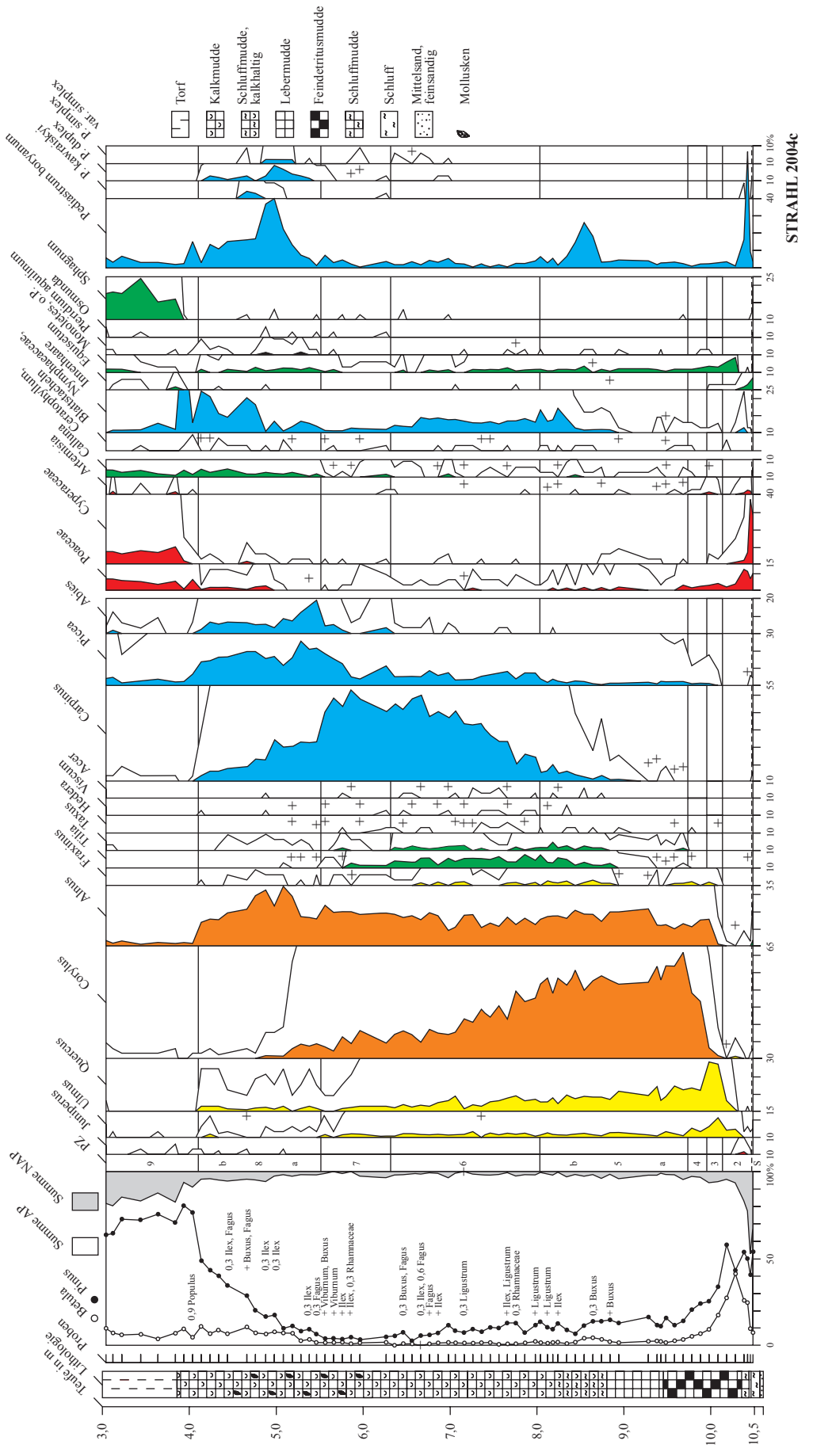


Abb. 29
Pollendiagramm der Bohrung Ww 5/2003 Tschernitz (ausgewählte Taxa)
Gesamtpollensumme = AP + NAP = ± 335 = 100%, exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Sporen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, Werte <1% zehnfach überhöht, + = außerhalb der Grundsumme

Fig. 29
Pollen diagram of bore hole Ww 5/2003 Tschernitz (selected taxa)
basis sum AP + NAP = ± 335 = 100%, excl. swamp- and waterplants, sporae, algae and other micro remains, values < 1% with tenfold exaggeration, + = out of basis sum

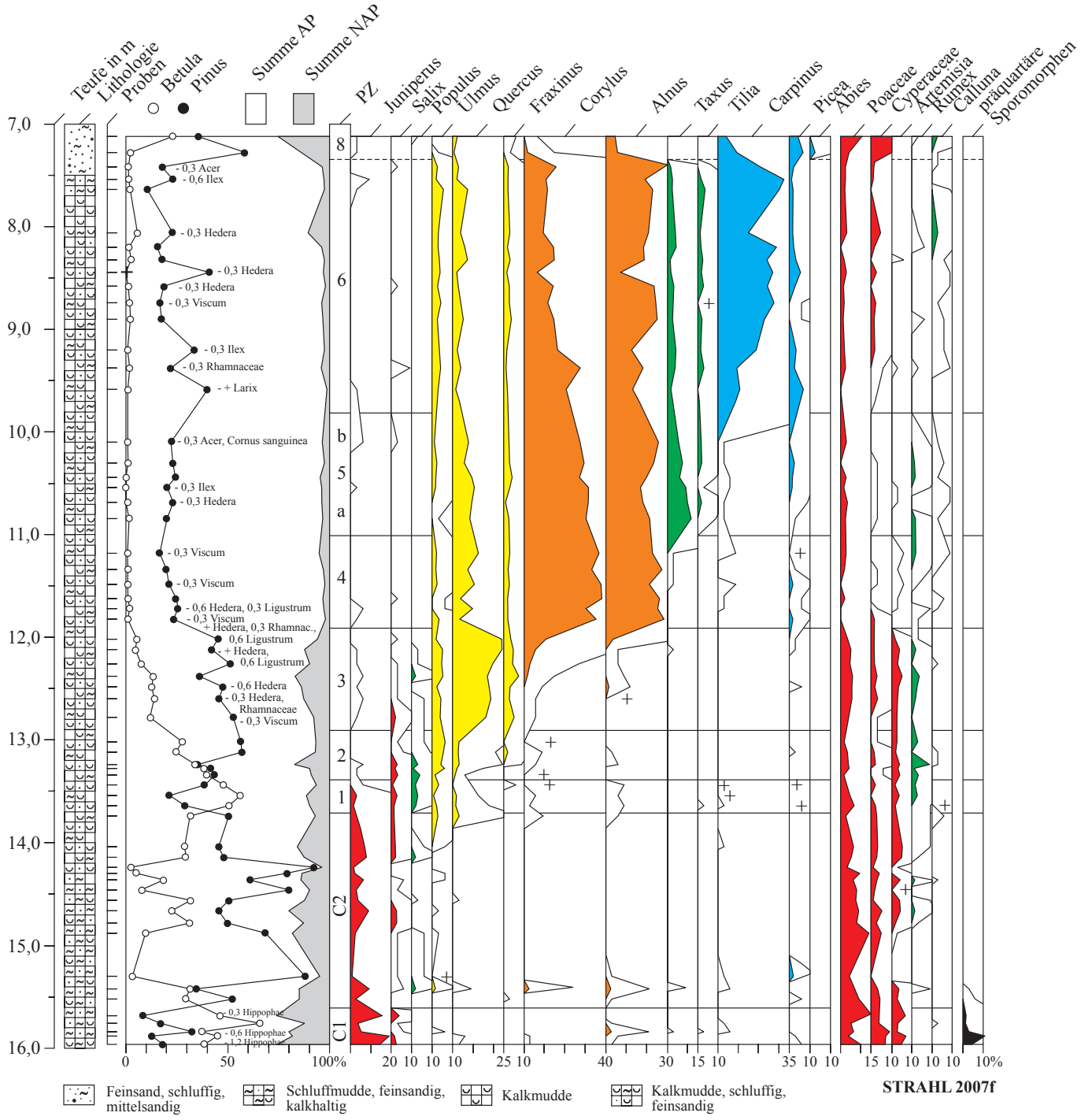


Abb. 30
Pollendiagramm der Bohrung Nedlitz 1A/87 (ausgewählte Taxa)
Gesamtpollensumme = AP + NAP = ± 335 = 100%, exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Sporen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, Werte <1% zehnfach überhöht, + = außerhalb der Grundsumme

Fig. 30
Pollen diagram of bore hole Nedlitz 1A/87 Tschernitz (selected taxa)
basis sum AP + NAP = ± 335 = 100%, excl. swamp- and waterplants, sporae, algae and other micro remains, values < 1% with tenfold exaggeration, + = out of basis sum

Buchbesprechung

SIEGESMUND, S. & A. EHLING (Hrsg.) (2007): **Rohstoff Naturstein – Teil 1**. - Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, Band 158, H. 3, 328 S., 283 Abb., 58 Tab., 8 Tafeln.
SIEGESMUND, S. & A. EHLING (Hrsg.) (2007): **Rohstoff Naturstein – Teil 2**. - Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, Band 158, H. 4, 411 S., 247 Abb., 51 Tab., 18 Tafeln.
E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart
ISSN 1860-1804, Buchhandelspreis jeweils 68,- Euro.

Der Kreis derjenigen, die sich mit dem Thema Naturstein beschäftigen, geht weit über die jeweiligen Produzenten und eine Anzahl von Geologen hinaus. Naturstein ist auch ein bedeutender Arbeitsgegenstand für Baufachleute, Architekten, Restauratoren und Denkmalpfleger. Darüber hinaus werden Natursteinaspekte zunehmend auch in regionale Tourismuskonzepte und Stadtführungen eingebaut und somit einem noch größeren Kreis von Interessenten nahegebracht.
Über dieses breitgefächerte Interesse verschiedener Professionen hinweg fasziniert der Themenkomplex Naturstein schon einfach aufgrund der Tatsache, dass es sich hierbei um eines der ältesten vom Menschen genutzten Baumaterialien handelt, das über alle zivilisatorischen Entwicklungsstufen hinweg stets zum Einsatz kam, sich in Beziehung auf seine gesellschaftliche Aussagekraft und Wahrnehmung z. B. als Statussymbol, aber sehr wohl in diskontinuierlichen Zeitabständen wandelte.
Und schließlich verbirgt sich hinter dem Wort Naturstein eine außerordentliche Vielfältigkeit von Resultaten regionaler geologischer Entwicklungsprozesse überall auf der Erde. In deren Ergebnis kann jedes dieser Naturprodukte für sich genommen aufgrund immer wieder variierender Petrographie, Farbe, Verarbeitungseigenschaften, Verwitterungsbeständigkeiten usw. als Unikat angesehen werden.

Insofern war es für die Herausgeber eine anspruchsvolle Aufgabe, bei der Auswahl der Beiträge thematisch derart weit auszuholen, dass alle diese Interessen bedient werden können, einen weiten territorialen Bogen zu schlagen, auf der Zeitachse der Natursteinbaugeschichte zu wandeln, dabei der geologischen Vielfalt des Diskussionsgegenstandes und den petrographischen, geochemischen und technologischen Untersuchungsverfahren stets Raum zu gewähren und sich trotzdem nicht in Unübersichtlichkeit zu verlieren.

Der Teil 1 (ZDGG, Band 158, Heft 3) beinhaltet daher zunächst vorrangig Arbeiten zu Untersuchungen von Natursteinen in verschiedenen Ländern. Dabei finden sich Überblicksdarstellungen über das Natursteinpotenzial einzelner Länder (z. B. Ungarn, Thailand, Benin, Argentinien) genauso wie Untersuchungen historischer Bausubstanz mit Kartierungen von Verwitterungsschäden und nachfolgender Konservierung (z. B. Nemrud Dag/Türkei, Stadtanlage Sirwâh/Jemen, Theben/Ägypten).
Themen und Zielstellungen der ausgewählten Arbeiten zeigen dabei, dass das in Deutschland mit seiner langen Tradition auf diesem Gebiet erarbeitete Fachwissen zu Abbau, Behandlung und Konservierung von Naturstein auch international sehr gefragt ist.

Ferner finden sich in diesem ersten Band Beiträge zu neuen methodischen Entwicklungen auf den Gebieten der Abbautechnologie wie beispielsweise der Nutzung von Bodenradar zur Lokalisierung defektfreier quaderförmiger Blöcke im Steinbruch oder der technischen Natursteinanalyse (z. B. Bohrhärtemessungen).

In den in Teil 2 (ZDGG, Band 158, Heft 4) publizierten Beiträgen bekommen neben primär geologisch ausgerichteten Themen vor allem Wünsche und Anforderungen von Interessengruppen wie Architekten, Vertretern von Materialprüfanstalten und Natursteinverbänden Raum. Es geht sowohl um abbautechnologische, gesteinstechnische und anwenderbezogene Aspekte als auch um wirtschaftliche Fragestellungen des globalen Rohstoffmarktes.
Dabei klingen durchaus auch kritische Töne an, so die Notwendigkeit eines deutlichen Bekenntnisses zum Erhalt der einheimischen Natursteinindustrie, die an vielen Stellen in Konflikten mit Raumplanungsbehörden steht, sowie die Forderung nach systematischer Erhebung und Bereitstellung von Daten zur Charakterisierung einheimischer und importierter Natursteine. Nicht zuletzt spricht aus vielen Beiträgen auch das eindringliche Plädoyer für eine Bewahrung und Weitergabe von Wissen über den Roh- und Werkstoff Naturstein, nicht nur in andere Länder, sondern für die Vorhaltung dieser Kompetenz auch in Deutschland.
Ein Schwerpunkt geowissenschaftlicher Darstellungen in diesem zweiten Band kommt verschiedenen materialtechnischen Untersuchungen vorwiegend an Sandsteinen verschiedener deutscher Herkunftsorte zu, verbunden mit der Entwicklung von Konservierungstechniken und deren Applikation an diversen Bauwerken.

Insgesamt ist den Herausgebern Siegfried Siegesmund und Angela Ehling eine äußerst geschickte Hand bei der Auswahl der Beiträge zu bescheinigen, die in ihrer Gesamtheit das eingangs genannte inhaltlich weite Spektrum namens „Naturstein" sehr weitgehend abdecken. Der Mehrzahl der mit Untersuchungen von lokalen Natursteinvorkommen oder zu konservierender Bausubstanz befassten Beiträge wohnt über die in ihnen diskutierten Themen hinaus auch eine methodische Relevanz inne, was den Wert der Gesamtabhandlung nochmals steigert.

An dieser Stelle soll auch erwähnt werden, dass die beiden hier besprochenen Bände eine gelungene lockere Einheit mit zwei bereits zu einem früheren Zeitpunkt erschienenen Ausgaben der Zeitschrift der DGG mit Zusammenstellungen von Originalbeiträgen bilden: Band 150 (1999) Heft 2 mit dem Schwerpunktthema „Marmor-Konservierung" und Band 156 (2005) Heft 1 mit dem Titel „Geowissenschaften und Denkmalpflege".
Die hier besprochene themenorientierte Publikation in zwei Bänden der Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften gewährleistet sowohl die hohe Aktualität der Beiträge als auch deren räumliche Konzentration im geowissenschaftliche Schrifttum, was zusammen mit der gewohnt sehr guten Ausstattung der Zeitschrift die beste Empfehlung für alle Natursteininteressenten darstellen sollte.

Thomas Höding

Brandenburg. geowiss. Beitr.	Kleinmachnow, Cottbus	**15** (2008), 1/2	S. 57-68	4 Abb., 4 Tab., 5 Lit.

Eine Methode zur konzentrationsunabhängigen Früherkennung von Salzwasserintrusionen in süßwasserführende Grundwasserleiter und Oberflächengewässer

A method for a concentration free early detection of saltwater intrusions into freshwater aquifers and surface water

Berthold Rechlin

Einführung

Je nach Herkunft, Alter und Genese weisen Grundwässer unterschiedliche stoffliche Zusammensetzungen auf. Mittels eines hydrogeochemischen Bewertungsverfahrens können Aussagen zur Genese der Grundwässer abgeleitet werden. Ausgehend von empirischen Erfahrungen konnten hierzu geochemische Entscheidungskriterien erarbeitet werden, die eine verbesserte Grundlage für eine genetische Bewertung der Grundwässer darstellen.
Zur Orientierung wird vorab das **G**enetische-**G**rund-**V**erhältnis (GGV) zur Identifizierung von vorzugsweise geogen- und/oder marin salinaren Wässer mit noch geringem Konzentrationsniveau in süßwasserführenden Grundwasserleitern und Oberflächengewässern vorgestellt. Es beruht auf der Zuordnung und Bewertung von Berechnungssalzen in einem **U**nscharfen-**S**tatistisch-**G**enetischen **M**odell von Wässern der **H**ydrosphäre (Genese-Modell USGMH) auf hydrogeochemischer Basis.

Das GGV ist eines der wichtigsten Salzverhältnisse des USGMH und wird durch das Verhältnis der Modellsalze des Sylvin und des Halit zueinander geprägt. Das alleinige Heranziehen dieses für die praktische Anwendung vereinfachten genetischen Verhältnisses ist für eine erste orientierende Einschätzung des Vorliegens und der Entwicklung eines möglichen salinaren Stoffeintrages im untersuchten Grundwasserbereich ausreichend. Seine Bedeutung liegt insbesondere in der Beurteilung natürlicher Wässer nicht nur mit salinarem Hintergrund. Signifikante anthropogene Überprägungen beeinflussen dieses und andere Salzverhältnisse deutlich und erfordern in der Regel zusätzliche spezielle Untersuchungen mit dem Genese-Modell.
Für eine verbesserte Aussagegenauigkeit müssen daher zusätzliche Indikatoren des Modells verifiziert werden. Die für diesen Sachverhalt wichtigsten sind der **S**alinar-**M**atrix-**K**oeffizient (SMK) und der **S**alinare-**I**ntrusions-**K**oeffizient (SIK). Diese sind im Gegensatz zum GGV an den jeweiligen genetischen Typ des USGMH gebunden, zu dem die Lösung gehört und können nur mit der gesamten Modellmatrix ermittelt werden. Diese ist auch die Basis für das im Modell dann verwendete komplexe GGV.
Auf Grund des damit verbundenen außerordentlich großen Aufwandes und auch wegen ihrer sehr großen Fehlerempfindlichkeit bei nicht exakten oder unvollständigen Analysen sowie einzuhaltender Randbedingungen soll für die Berechnung des GGV und gegebenenfalls weiterer genetischer Koeffizienten ein dafür speziell entwickeltes Auswertungsprogramm im Jahre 2009 zur allgemeinen Anwendung zur Verfügung stehen. Neben Einzelanalysen können in diesem dann auch komplexe Datensätze untersucht werden.

Obwohl das USGMH noch nicht abschließend fertiggestellt ist, kann schon jetzt mit seiner Hilfe die ursächliche Herkunft der Wässer auf hydrogeochemischer Basis besser beurteilt und eine objektivere Beurteilung der Speisungsbedingungen erreicht werden. Es umfasst derzeit einige hundert genetische Berechnungstypen, die den Lösungsinhalt nach einem einheitlichen Schema beschreiben. Dafür ist unabdingbar, dass die Analysen nicht nur mit der Ionenbilanz, sondern auch mit davon unabhängigen mathematisch-statistischen Verfahren auf ihre Zulässigkeit für genetische Bewertungen überprüft werden. Die vollständige genetische Typisierung erfordert jedoch noch weitere Entwicklungsarbeit, die mit einer entsprechenden Software zu einem späteren Zeitpunkt in die Praxis eingeführt werden soll.

Den Untersuchungsarbeiten liegen weit über 10 000 Analysen zu Grunde, die den erhöhten qualitativen Genauigkeitsanforderungen des Modells an die Ionenbilanz genügen. Ihre Repräsentanz wurde mit den in den jeweiligen Entwicklungsetappen erarbeiteten Softwareversionen (GENESE/2000, HYDRAGEB/2002, GGMH/2007) und den darin enthaltenden Überprüfungen verifiziert.

1. Geologische und hydrodynamische Grundlagen

Die grundwassergenetischen Untersuchungen im Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe (LBGR) erfolgen

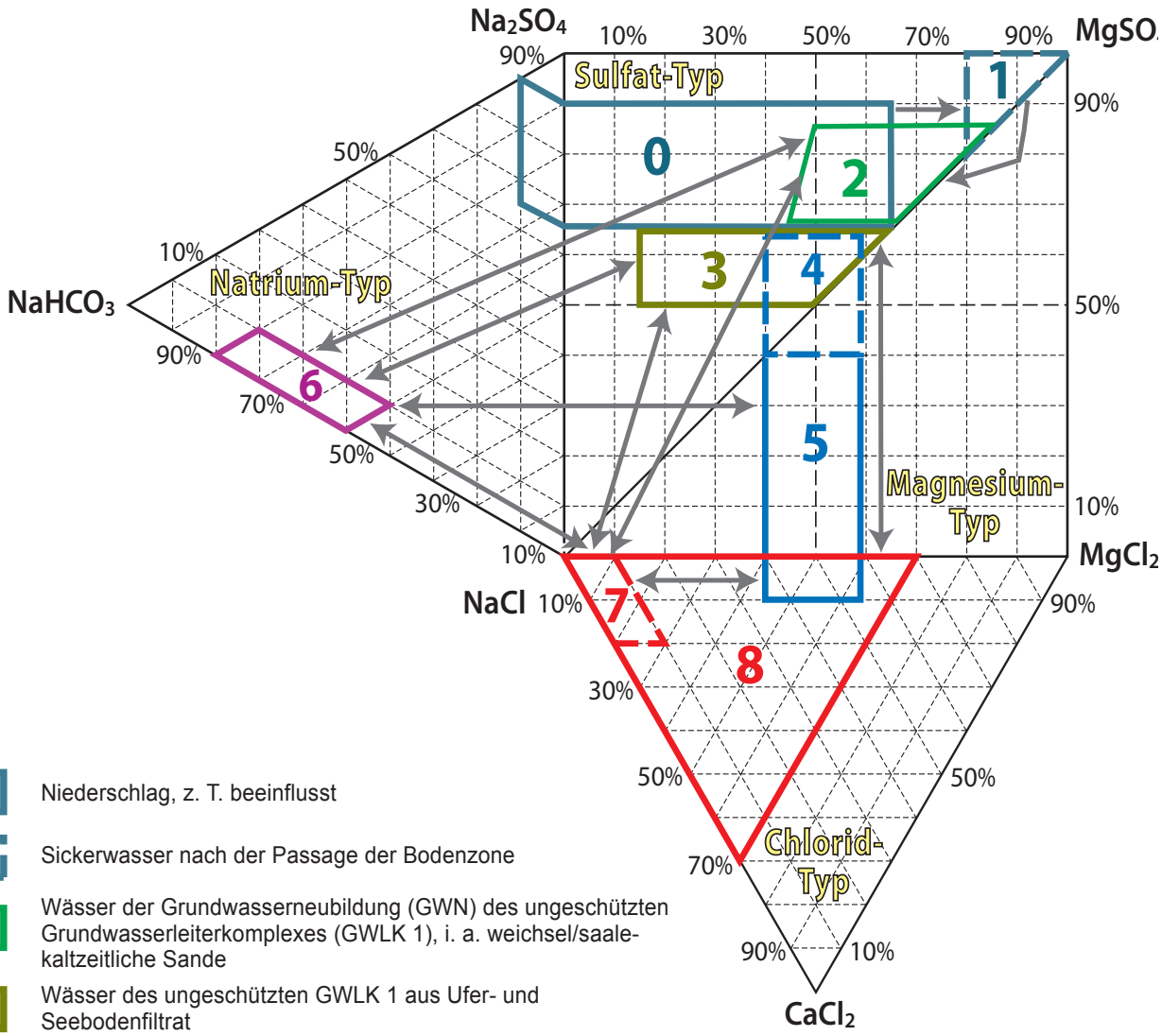
vor dem Hintergrund, dass im Salzwasserstockwerk von Brandenburg ein erhebliches Druckpotenzial auch unterhalb von Grundwasserneubildungsgebieten (bis etwa + 28 m NN nachgewiesen) existiert. Dieses induziert in Abhängigkeit von Verbreitung und Mächtigkeit seiner Deckschichten, unabhängig von den hydraulischen Zuständen des überlagernden Süßwasserstockwerkes bei geologischen Defekten (Quartär-Ausräumungszonen, Bruchstörungen) einen Salzwassertransport in die primär Süßwasser führenden Grundwasserleiter (GWL). Dieser natürliche Entlastungprozess wird durch mehr als 50 Salzstellen im Bereich brandenburgischer Niederungsgebiete angezeigt.
Der meist fahnenförmige Transport der Salzfracht kann mehrere Kilometer Entfernung vom Ursprungsort erreichen, wenn Vorfluter und Wasserwerke durch ihre zusätzliche hydraulische Druckentlastung in ihren Einzugsgebieten diesen eigendynamischen Prozess verstärken. Das eigendynamische Druckpotential verursacht bei großräumigen Fehlstellen in den liegenden Grundwasserhemmern und gleichzeitiger Dominanz durchlässiger Matrix, dass diese Fahnen trotzt des Fehlens hydraulischer Entlastungselemente auch entgegen der Grundwasserfließrichtung noch einen erheblichen Abstand von der geologischen Defektstelle erreichen können. Ein derartiger Salzwassertransport scheint besonders in tieferen Grundwasserleitern ausgebildet zu sein und ist schon mit einem Abstand von mindestens 2 km, beispielsweise unterhalb der Hochfläche der Prignitz (Westbrandenburg) im Hauptgrundwasserleiter des betroffenen Neubildungsgebietes, nachgewiesen worden.
Nicht nur für Brandenburg sind die NaCl-Schichtwässer im Salzwasserstockwerk dominant. Dieses beginnt hier im Mittel ab etwa 250 m unter Geländeoberkante (GOK) und erreicht einige Kilometer Mächtigkeit. Die anderen, die hochsalinaren Laugen dieses Stockwerkes prägenden Lösungen, die $MgCl_2$- und $CaCl_2$-Schichtwässer, treten erst im Zechstein (i. d. R. > 2 000 m u. GOK) bzw. dem Rotliegenden (> 3000 m unter GOK) auf und können nur über strukturelle oder stoffliche Wegsamkeiten in oberflächennahe Grundwasserleiter und Vorfluter gelangen. Sie sind bei der Intrusion von Salzwasser in das Süßwasserstockwerk zwar auch beteiligt, erreichen jedoch bei Weitem nicht die Bedeutung der Halit-Wässer für die primär süßwasserführenden Grundwasserleiterkomplexe und sind für die Beurteilung der Aufstiegsmechanismen zunächst von geringerem Interesse. Im Normalfall bildet der als Trennhorizont zwischen dem Salz- und Süßwasserstock ausgebildete Rupelhorizont und/oder Tonmergelsteine eine stoffliche Barriere.

Nach den aus den genetischen Untersuchungen vorliegenden Befunden sind diffus-migrierende Salzwässer zum geogenen Hintergrund im Süßwasserstockwerk des Landesterritoriums zu rechnen.
Bei ausreichendem Verdünnungspotenzial aus der Grundwasserneubildung und in den stationären Grundwasservorräten stellen sie beim Fortbestehen der Druckverhältnisse zueinander kein besonderes Problem für die Grundwassernutzung dar. Werden diese Bedingungen durch zusätzliche hydraulische Entlastung (Grundwasserabsenkung) oder auch abnehmende Grundwasserneubildungsraten (Klimaänderung) und damit verbundenem reduzierten Auflastdruck gestört, wird sich der Salzwassertransport generell verstärken. Die durch fallende Grundwasserstände verursachte relative Druckerhöhung des Salzwasserstockwerkes wird dazu führen, dass die „ungefährlichen“ diffus-migrierenden Salzwässer noch ohne signifikante Konzentrationserhöhung von Chlorid sich genetisch zunächst zu migrierenden Salzwässern entwickeln und so einen beginnenden natürlichen salinaren Intrusionsprozess im Süßwasserstockwerk anzeigen.

2. Methodik

Unter Berücksichtigung einer für hochkonzentrierte Lösungen entwickelten geochemischen Typisierung (VALJASHKO 1961) und deren Darstellung in einem Lagepunktdiagramm (RECHLIN 1997) wird seit etwa 1981 durch den Autor an einer hydrogeochemischen Modellvorstellung zur Beurteilung der Zusammensetzung des Grundwassers des Süßwasserstockwerkes gearbeitet. Im Unterschied zu VALJASHKO werden die eine Lösung prägenden Inhaltsstoffe hier dagegen nach einem speziellen Dominanz-Prinzip untersucht. Beide genetischen Methoden sind weitgehend konzentrationsunabhängig und miteinander verwandt. Im Unterschied zum Lagepunktkonzept nach VALJASHKO ist die Systematik im Genese-Modell „USGMH“ so beschaffen, dass die ursächliche Herkunft der geogenen und/oder anthropogenen Wässer auch bei großer Verdünnung im Wesentlichen identifiziert werden kann. Grundlage dafür ist die Typisierung der signifikanten Lösungsinhalte der geologischen Schichtenfolge nach einem einheitlichen System. Insbesondere konnte der Mangel der fehlenden diesbezüglichen Zuordnung im VALJASHKO-Diagramm reduziert werden. Hierfür ist jedoch noch weitere Entwicklungsarbeit erforderlich, bis das vollständige grundwassergenetische Modell vorgelegt werden kann.

Die Visualisierung der Befunde des Genese-Modells erfolgt vorerst noch im VALJASHKO-Diagramm, obwohl neben anderen die Stickstoff- und vor Allem die genetisch bedeutsamen Kalium-Salze nicht berücksichtigt werden können. Außerdem ist dieses auf Grund seiner ursächlichen Herkunft aus dem hochsalinaren Sedimentkomplex (Chloridwerte bis > 200 000 mg/l) nur bedingt für die Gewinnung genetischer Informationen im Süßwasserstockwerk geeignet. Dies gilt nicht nur für die geogenen Wässer, sondern insbesondere auch für die Ermittlung von anthropogenen Stoffeinträgen. Trotz unterschiedlicher Herkunft werden im Diagramm oft identische Lagepunkte dargestellt. Angemerkt sei, dass die VALJASHKO-Methodik nicht für die Bewertung von Wässern mit nur geringem Konzentrationsniveau entwickelt wurde und für diese Zwecke nicht autorisiert ist. Nach umfangreichen Untersuchungen konnte jedoch festgestellt werden, dass ihre Anwendung für gering mineralisierte Wässer zu einer erheblich verbesserten Beurteilung ihres Lösungsinhaltes beitragen kann. Erste Befunde zur Bewertung überwiegend geogener Wässer nach dem Lagepunktkonzept sind in Abbildung 1 zusammengefasst (RECHLIN 1997).



0 Niederschlag, z. T. beeinflusst

1 Sickerwasser nach der Passage der Bodenzone

2 Wässer der Grundwasserneubildung (GWN) des ungeschützten Grundwasserleiterkomplexes (GWLK 1), i. a. weichsel/saale-kaltzeitliche Sande

3 Wässer des ungeschützten GWLK 1 aus Ufer- und Seebodenfiltrat

4 Wässer im Liegenden des GWLK 1 bzw. im Bereich hydro-geologischer Fenster zwischen GWLK 1 und GWLK 2

5 Wässer mit längeren Aufenthaltszeiten (‘ältere GWN‘) des geschützten GWLK 2, i. a. saalekaltzeitliche Sande

6 gut geschützte Wässer des GWLK 3 ohne bzw. nur mit geringen Anteilen von GWN, i. a. elsterkaltzeitliche und tertiäre Sande

7 sehr gut geschützte, hoch mineralisierte Wässer des Tiefenwasserstockwerks (TWS 1) i. a. Rupelbasissande, Aquifere von Kreide, Jura, Trias

8 sehr gut geschützte, hoch mineralisierte Wässer des TWS 2, i. a. intrasalinare Restlaugen des Röt, Zechstein

↔ Entwicklungen der Lagepunkte auf dem Transportweg der Wässer nach ihrer Herkunft bzw. den Lagerungsverhältnissen

Abb.1
Hydrogeochemisches Genese-Modell der Wässer in den Grundwasserleiterkomplexen des Landes Brandenburg (RECHLIN 1997)

Fig. 1
Hydrogeochemical genetic interpretation model of groundwater in the aquifers of Brandenburg, Germany

Bei genauer Kenntnis der hydrogeologischen Verhältnisse der Grundwasserlagerstätten können mit diesem jedoch Wässer insbesondere salinarer Herkunft schon dann vergleichsweise sicher erkannt werden, wenn deren Speisungsanteil genetisch prägend geworden ist. Dieser wird im Modellansatz des Genese-Modells „USGMH“ mit Hilfe genetischer Salzverhältnisse (GGV) und weiteren Indikatoren (SMK, SIK) identifiziert. Auf dieser Grundlage kann eine vergleichsweise sichere Beurteilung der Lagepunkte im Diagramm auch für Oberflächengewässer erreicht werden. In der Abbildung 2 sind die Lagepunkte von Seen im Gebiet des Naturparks Stechlin im Trockenjahr 2003 dargestellt und mit Hilfe des GGV verifiziert und zugeordnet worden (KABOTH, RECHLIN & GINZEL 2008). Aus den Befunden lässt sich über das vergleichsweise niedrige GGV (< 0,1) ableiten, dass der Stechlinsee zu diesem Zeitpunkt durch geringfügige Anteile von geogen-salinaren Tiefenwässern beeinflusst wurde. Für die genetische und qualitative Beurteilung des Seewassers im Diagramm muss jedoch berücksichtigt werden, dass mit der salinaren Liegend-Speisung auch immer eine Süßwasser führende Entlastung aus den Liegenden verbunden ist. Diese wird beim Aufstieg insbesondere bei der Passage von organischen Sedimenten von deren spezifischen Lösungsinhalten nachhaltig beeinflusst. Diese hydraulischen Verhältnisse erklären dann auch die scheinbar abnehmende salinare Beeinflussung im Diagramm im Vergleich zum benachbarten Wittwesee. Bei normalen Niederschlagsverhältnissen wird der Stechlinsee jedoch neben zufließendem Grundwasser schon durch offensichtlich marin geprägte Niederschläge gespeist. Im Wittwesee ist dagegen

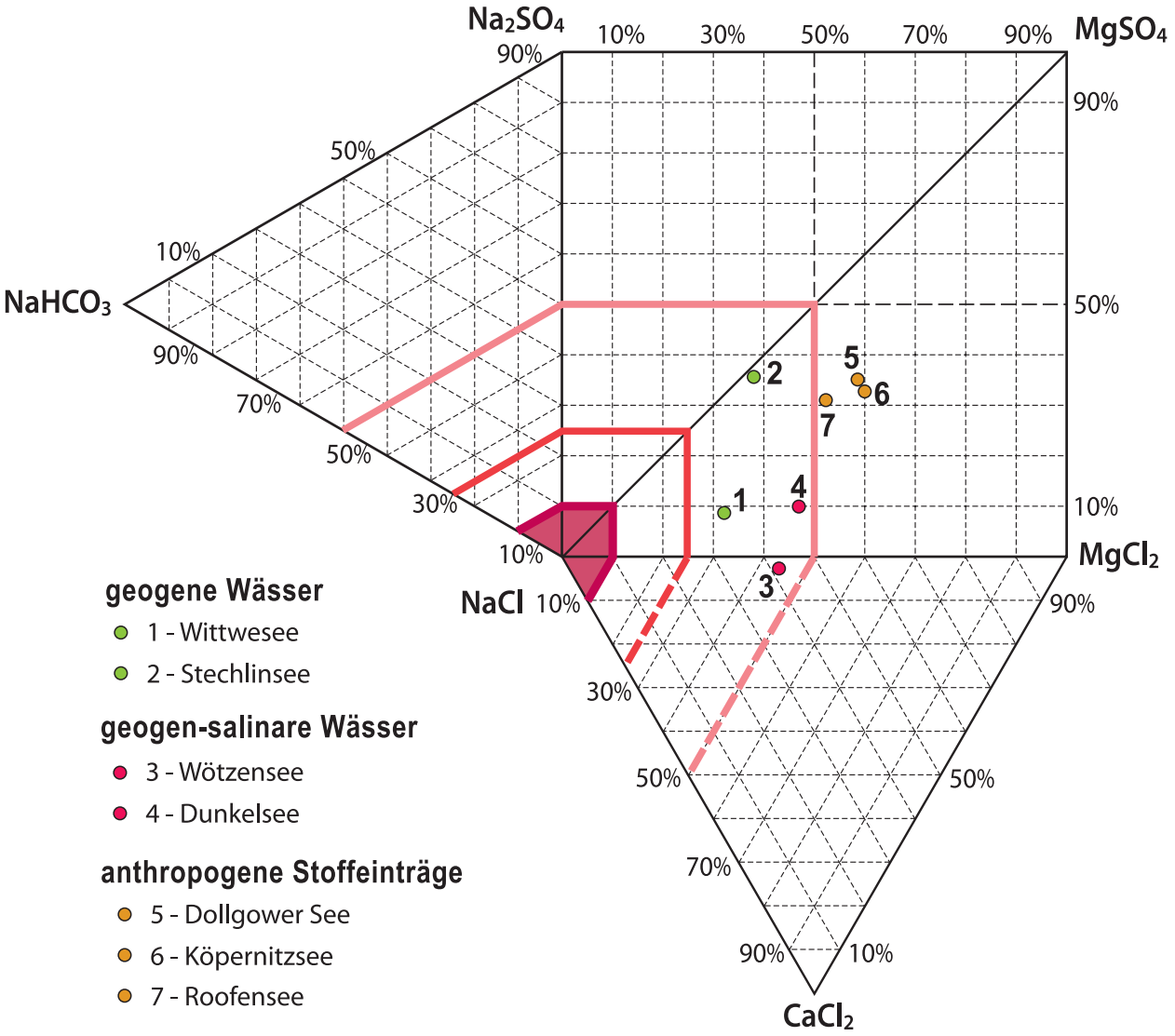


Abb. 2
Hydrogeochemisches Genese-Modell der Wässer in den Grundwasserleiterkomplexen des Landes Brandenburg für Oberflächengewässer im Naturpark Stechlin

Fig. 2
Hydrogeochemical genetic interpretation model of groundwater in the aquifers of Brandenburg; here for surface water in the natural preserve Lake Stechlin

die genetische Salzwasserbeeinflussung ausschließlich auf die aktuelle Grundwasserneubildung zurückzuführen, die durch ein deutlich höheres GGV (>0,1) angezeigt wird.

In der Bewertungsmethodik des Genese-Modells „USGMH" werden Ionen zu hypothetischen Salzen verknüpft und mit einer variablen genetischen Modellmatrix in ihrer wechselnden Abhängigkeit voneinander untersucht, zugeordnet und klassifiziert. Aus ihnen werden eine Vielzahl von **G**enetischen-**I**nformations-**R**eihen (GIR) abgeleitet, auf deren Basis dann die genetische Interpretation erfolgt.
Bei der Beurteilung der daraus hervorgehenden Befunde werden nicht nur die geologische, sondern auch die hydrodynamische Situation, die Flächennutzungen und Speisungsbedingungen sowie die Konzentrationsverteilung der Lösung in den untersuchten Standortbereichen berücksichtigt und so die ursächliche Herkunft der Lösung und ihre Veränderung auf dem Transportweg ermittelt.
Aus der Berechnung ergeben sich derzeit fünf genetische Systeme, die die Typisierung von VALJASHKO erweitern, jedoch mit dieser nicht identisch sind. Sie berücksichtigen auch die im Untersuchungsraum angetroffenen anthropogenen Stoffeinträge und die daraus resultierende veränderte Zusammensetzung der in den jeweiligen Grundwasserleitern enthaltenden Lösungen unterschiedlicher Mineralisation und Herkunft sowie ihre hydrodynamischen Wechselbeziehungen.
Das grundlegendste aus der Modellmatrix berechnete Salzverhältnis, das Genetische-Grund-Verhältnis, tritt in allen hydrogeochemisch-genetischen Typen mit überwiegend geologischem Hintergrund auf. Es ist somit in besonderem Maße geeignet, typ- und konzentrationsunabhängig vergleichbare genetische Informationen zu erzielen, wenn die Repräsentanz der Analytik für die Berechnung der Salzverhältnisse sichergestellt ist.
Bei richtiger Anwendung des zutreffenden GGV ergeben sich aus ihm sachlich begründete Hinweise insbesondere auf die Anwesenheit salinarer Wässer aus anthropogener, vorzugsweise jedoch geogener Ursache. Die Erfahrung lehrt, dass ohne rechtzeitige steuernde Maßnahmen hauptsächlich die geogene Versalzung zu einer Gefährdung nutzbarer Grundwasserlagerstätten bis hin zu deren Unbrauchbarkeit führen kann.
Die Modellvorstellungen des USGMH wurden in den jeweiligen Entwicklungsstufen in der geologischen Fachbehörde des Landes Brandenburg routinemäßig angewendet, verifiziert und fortlaufend präzisiert. Als Grundlage für den detaillierten Abgleich werden Grundwasserlagerstätten ausgewählt, in denen eine signifikante Prägung entweder anthropogen oder geogen erwartet werden kann. Die Ergebnisse werden seit einigen Jahren in konkreten Aufgabenstellungen der täglichen Praxis angewendet.

3. Genetisches-Grund-Verhältnis GGV

3.1 Grundlagen

Das GGV trennt zum Einen das Süß- vom Salzwasser und zum Anderen Wässer mit kurzen von denen mit längeren Fließwegen vom Ursprungsort. Daraus ergeben sich zusätzlich auch Rückschlüsse auf die Verweildauer der Lösungen im jeweiligen Grundwasserleiterkomplex. In diesem grundlegenden Salzverhältnis sind einerseits die anthropogene Beeinflussung sowie die Verwitterung bzw. Sorption und andererseits die Stoffeinträge von Halitwässern aus der anthropogenen und geogenen Grundwasserneubildung (Niederschlag aus verdunstendem Ozeanwasser) bzw. aus dem liegenden Salzwasserstockwerk vereinigt.
Das GGV ist ein kombiniertes Restsalzverhältnis des Genese-Modells und wird durch andere genetische Indikatoren präzisiert. Auch ohne Einbeziehung dieser Koeffizienten ist eine erste orientierende Beurteilung zum Einfluss salinarer Wässer in den untersuchten Grundwasserleitern und Oberflächengewässern möglich, wenn nur das Basisverhältnis des GGV zu Grunde gelegt wird. Es wird beschrieben mit dem Koeffizienten:

$$KCl\ (\%) : NaCl\ (\%)$$

Für die Übersichtsberechnung des GGV ist die nahezu fehlerfreie Bestimmung mindestens nachfolgender Parameter unerlässlich:

Vor-Ort-Parameter:	pH-Wert, Temperatur, Leitfähigkeit
Kationen:	K, Na, Mg, Ca, NH_4, Fe, Mn (ges./gel.)
Anionen:	Cl, SO_4, HCO_3, NO_2, NO_3, Br
Organische Parameter:	CSV_{Mn}, DOC, UV_{254}

Treten erhöhte Nitrat-Werte (> 10 mg/l) auf, muss das GGV bei einigen genetischen Kombinationen modifiziert werden. Die sich aus den diesbezüglichen Testberechnungen ergebenden Befunde sind unter Umständen nicht repräsentativ. Die Ermittlung des zutreffenden Wertes ist dann erheblich aufwändiger und kann nur mit der Modellmatrix des USGMH erfolgen.
In jedem Falle muss sichergestellt sein, dass auch bei orientierenden Untersuchungen die dafür gerade noch zulässige Ionenbilanzabweichung $e \leq 1\%$ nicht überschritten wird.
Eine Berechnung von Ionen aus deren Bilanz ist vollständig unzulässig, da damit unter keinen Umständen verwertbare genetische Ergebnisse erzielt werden können. Aus gegebenem Anlass wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass dieser Sachverhalt auch für die VALJASHKO-Methodik zutrifft. Es muss darüber hinaus auch bei einer vereinfachten Berechnung in jedem Fall sichergestellt sein, dass über die Abweichung der Ionenbilanz hinaus, die Repräsentanz der Analyse für die Bewertung überprüft wird. Dafür sind in diesem Bewertungsstadium Kontrollanalysen in kurzem Abstand erforderlich.

Die Berechnung der Modellsalze erfolgt auf der Basis der Löslichkeit der Ionen-Verbindungen ausgehend vom schwerlöslichen Salz $CaCO_3/Ca(HCO_3)_2$ mit den in der Lösung verbleibenden Ionen und den daraus resultierenden leichter löslichen Salzen von Stickstoff, Chlorid, Sulfat und Hydrogenkarbonat. Die Bestimmung zusätzlicher Parameter (z. B. SSO_4, Ba, Al, Zn, B, PO_4) ist hilfreich, um sie zu einem späteren Zeitpunkt im USGMH umfassend bewerten zu können.

Im Gegensatz zum GGV ist die alleinige Anwendung des Ionen-Verhältnis K (mmol(eq)/l): Na (mmol(eq)/l) für vergleichbare, konzentrationsunabhängige genetische Untersuchungen von Grund- und Oberflächenwässern unterschiedlicher Herkunft wenig geeignet, da beispielsweise das prägende Natrium sowohl eine anthropogene Herkunft (u. a. Abwasser) haben, als auch dominierender Lösungsinhalt stationärer und oder salinar beeinflusster Grundwässer sein kann. Das nachfolgende Beispiel zeigt, dass trotz gleicher Natrium-Konzentration und ähnlichem K/Na-Koeffizienten eine vollständig unterschiedliche Herkunft des Lösungsinhaltes vorliegt. Dieser Sachverhalt wird nicht nur durch die jeweilige Chlorid-Konzentration, sondern auch durch das GGV belegt:

Parameter	GWM 157 Westbrandenburg -stationäres Grundwasser-	Br. 1 WW - Nordbrandenburg -salinar geprägtes Grundwasser-
K (mg/l)	7,8	3,2
Na (mg/l)	76,0	75,9
Cl (mg/l)	12,0	108,3
GGV	1,4	0,03
K/Na	0,06	0,02

Verifiziert wird das GGV durch eine spezielle Überprüfung mit weiteren Modellsalzen, die dann eine weitergehende genetische Interpretationen ermöglichen. Diese ist zu einer weitgehend sicheren Beurteilung der Lösung zwar geboten, jedoch wegen ihrer Abhängigkeit vom jeweiligen genetischen Berechnungstyp, d. h. von der konkreten Zusammensetzung der Lösung nur mit hohem Aufwand zu realisieren. Der für die detaillierte Verifizierung der Aussagen des GGV wichtigste Parameter ist der Salinar-Matrix-Koeffizient. Er trennt das Süßwasser ohne Einfluss von Salzwasser aus dem liegenden Sedimentkomplex von den Lösungen, in denen die Stoffeinträge des Salzwasserstockwerkes gerade beginnen und kann auch für die Identifizierung eines anthropogenen Salinars im untersuchten hydrogeologischen Raum herangezogen werden.
Für die Überwachung eines salinaren Stoffeintrages in Einzugsgebiete des Grund- und Oberflächenwassers ist der Salinare-Intrusions-Koeffizient geeignet. Mit seiner Hilfe können diesbezügliche Entwicklungen frühzeitig kontrolliert und Gegenmaßnahmen in den betroffenen Wasserfassungen auf ihre Wirksamkeit überprüft werden. Für die Bewertung von nicht salinaren Lösungsinhalten werden dann andere, ebenfalls typgebundene Salzverhältnisse genutzt.

Im Ergebnis dieser Bewertung kann die unterschiedliche ursächliche Herkunft der Wässer, ihr sich verändernder Anteil auf dem Transportweg durch die Sedimente sowie die vorhandene und sich entwickelnde laterale Zuspeisung besser beurteilt werden. Nur alle Salzverhältnisse und Koeffizienten zusammen ermöglichen durch ihre voneinander abhängige Beziehung im Modell eine weitgehend verlässliche Beurteilung der einzelnen Lösungsinhalte der Wässer in den süß-und salzwasserführenden Grundwasserleitern. Sie erlauben damit insbesondere bei Wasserfassungen eine adäquate Reaktion auf zunehmende qualitativ negative Beeinträchtigungen aus anthropogener und/oder geogener Ursache.

Tab. 1 Klassifizierung des GGV
Tab. 1 Classification of GGV

GGV	SMK	SIK	Orientierende Zuordnung
> 0,1	> 1	>>> 1	Süßwässer ohne salinaren Hintergrund mit kurzer Transportentfernung
< 0,1	> 1	>>> 1	Süßwasser ohne salinaren Hintergrund mit längerer Transportentfernung
< 0,1	< 1	>> 1	diffus-migrierende Salzwässer
<< 0,1	<< 1	> 1	migrierende Salzwässer
< 0,05	<<< 1	< 1	intrusive Salzwässer
< 0,01			Salzwasser der Aquifere des Salinarstockwerkes

Tab. 2 Unterscheidung anthropogen- und/oder geogen-salinarer Wässer
Tab. 2 Difference between anthropogenic and/ or geogene-salinar water

GGV	SMK	SIK	Orientierende Zuordnung
> 0,1	< 1	> 1	Anwesenheit geogener Salzwässer eher unwahrscheinlich
> 0,1	< 1	< 1	Anwesenheit geogener Salzwässer eher wahrscheinlich

3.2 Aussagen

Das GGV entwickelt sich im Süßwasserstockwerk bei geogen-salinaren Stoffeinträgen unabhängig von der Konzentration bei weitgehend fehlender anthropogener Beeinflussung entsprechend Tabelle 1.

Grundsätzlich dürfen die genetischen Zuordnungen nicht statisch angewendet, sondern müssen gerade in den Grenzbereichen dynamisch interpretiert werden.
Die genetischen Koeffizienten SMK und SIK sind zur Orientierung mit aufgeführt worden.

Bei nachhaltigen anthropogen-salinaren Stoffeinträgen, die nicht nur durch erhöhte Nitrat-Werte gekennzeichnet sind, wird das GGV erheblich beeinflusst und muss durch andere Modellsalze auf begleitende geogen-salinare Wässer untersucht werden. Folgende

Hinweise zur Beteiligung von geogenem Salzwasser an dieser Lösung sind mit der gebotenen Vorsicht jedoch möglich (Tab. 2).

Die salinare Beeinträchtigung kann durch den SMK meist noch rechtzeitig erkannt werden. Ist das nicht der Fall, erscheinen diese Lösungen zunächst als nicht salinar gefährdet und müssen im USGMH insbesondere in Übergangsbereichen detailliert untersucht werden. Eine beginnende geogen-salinare Intrusion wird kaschiert und oft erst wesentlich später aber meist immer noch früher als bei einer ausschließlichen Konzentrationsbewertung durch die Entwicklung des SIK identifiziert. Bei dieser kann der jeweilige Anteil von Chlorid mit unterschiedlicher Herkunft nur mit großem Aufwand verlässlich identifiziert und ein geogenes Gefährdungspotenzial rechtzeitig diagnostiziert werden (Chlorid-Konzentrationen bei kommunalem und landwirtschaftlichem Abwasser oftmals > 100 mg/l).

Das GGV der Ozeane (marines Salzwasser) ist konstant < 0,05 und liegt unabhängig von der Konzentration (Atlantik/Pazifik/Mittelmeer/Nordsee/Ostsee) bei 0,03, jedoch immer über dem des unbeeinflussten geogenen Salzwasserstockwerkes (< 0,01). Bei salinarem Transport in das Süßwasserstockwerk steigt es systematisch an und weist auf den zunehmenden Einfluss anderer Vorratsanteile hin. Wird eine salinare Aufstiegsbahn durch Förderbetrieb ausgesüßt, verändert sich dieses entsprechend. Bei salinarer Aktivierung fällt es systematisch in umgekehrter Reihenfolge.

In den Grundwasserleitern des Süßwasserstockwerkes bedeutet ein GGV von > 0,1, dass es sich um meist neubildungsbeeinflusste oft anthropogen überprägte und/oder geogene überwiegend stationäre Wässer handelt; ein GGV von < 0,1 weist entweder auf geogene Wässer und/oder schon auf die Anwesenheit salinarer Wässer hin. Wird ein Wert von < 0,05 unterschritten, ist mit großer Wahrscheinlichkeit ein anthropogenes vorzugsweise jedoch ein geogenes Salinar ausgebildet. Worum es sich im Einzelfall handelt, kann neben der Bewertung der entsprechenden Salinar-Koeffizienten durch die Einbeziehung zusätzlicher genetischer Salze untersucht werden.

3.3 Anwendung

Da für Oberflächengewässer bisher nur Einzeluntersuchungen, beispielsweise aus dem Naturpark Stechlin vorliegen (Kaboth, Rechlin & Ginzel 2008), werden die mit dem GGV zu erzielenden Informationen anhand von Testförderungen an einem Wasserwerk (WW) in Nord- und einem in Mittelbrandenburg dargestellt (N-Brdbg./ M-Brdbg.) (Tab. 3).

Tab. 3
Ausgewählte genetische Grund-Verhältnisse von Wasserwerksbrunnen in Brandenburg

Tab. 3
Selected genetic basic relations of waterwork-wells in Brandenburg

Herkunft	GW-Förderung	Datum	Cl-Wert [mg/l]	GGV
WW N-Brdbg. Br. 6	Test - Anfang	30.10.2006	9,9	0,29
„		01.11.2006	20,7	0,10
„	Test - Ende	03.11.2006	25,8	0,07
	Normalbetrieb	08.05.2007	65	0,04
WW N-Brdbg. Br. 3	„	14.03.2006	41,5	0,05
WW N-Brdbg. Br. 1	ohne Betrieb	18.09.2006	112	0,02
WW N-Brdbg. Br. 2	„	18.09.2006	107	0,02
WW N-Brdbg. Br. 4	„	18.09.2006	441	0,01
WW M-Brdbg. Br. 4 -kein Betrieb benachbarter Brunnen-	ohne Betrieb	26.03.1984	819,9	< 0,01
	"	28.03.1984	58,4	0,04
	"	23.04.1984	719,6	< 0,01
WW M-Brdbg. Br.4 -Betrieb benachbarter Brunnen-	ohne Betrieb	24.05.1984	737,4	< 0,01
	"	17.09.1984	19,9	0,08
	"	21.11.1984	754,9	< 0,01
	"	19.12.1984	29,8	0,07

Interpretation:
Im mittelbrandenburgischen Wasserwerk ist schon eine hochaktive Intrusionsbahn ausgebildet, die bei Förderruhe in ihrem benachbarten Umfeld auch bei einer schnellen Aussüßung eine unvermittelte Aufsalzung schon bei ihrer Beprobung zur Folge hat. Daraus ergibt sich ein klarer Hinweis auf die Ausbildung eines Upconing im Standortbereich des Brunnens, der seine weitere Nutzung ohne technische Maßnahmen ausschließt. Werden benachbarte Brunnen betrieben, ist in Abhängigkeit von deren jeweiligen Einzugsgebieten jedoch auch eine „Sanierung“ des kritischen Fassungsteiles festzustellen. Diese ist abhängig vom konkreten Förderstandort und von der Fördermenge in einem definierten Zeitraum. Die Erfahrung zeigt, dass sich aus der Zuordnung und Veränderung des GGV zu entsprechenden hydraulischen Zuständen der betroffenen Wasserfassungen ein verbessertes Förderregime ab-

leiten lässt, das eine weitere Salzwasserkontamination begrenzt. Mit der Einbeziehung weiterer genetischer Informationen kann deren Ausbreitung weitgehend minimiert und eine (wenn auch reduzierte) Verfügbarkeit der Wasserfassung sichergestellt werden.
Mit einem GGV um 0,05 kann der kritische Chloridwert für das jeweilige Einzugsgebiet ermittelt werden, ab dem mit der Intrusion salinarer Tiefenwässer in Förderbrunnen/ Grundwassermessstellen oder Oberflächengewässer gerechnet werden muss.
Können beispielsweise durch den Förderbetrieb von salinar gefährdeten Brunnen noch andere süßwasserführende Vorratsanteile hydraulisch erschlossen werden, stabilisiert sich das GGV auf dem erreichten Stand und zeigt einen diesbezüglich labilen Gleichgewichtszustand zwischen den Anteilen des Süß- bzw. Salzwassers in der Lösung an. Frühzeitige Hinweise darauf ergeben sich aus den genetischen Koeffizienten SMK und SIK.
Sowohl für das WW in Nordbrandenburg als auch für den bewerteten Fassungsteil des in Mittelbrandenburg untersuchten, ist der kritische Cl-Wert mit etwa 40 mg/l anzusetzen, obwohl fassungsspezifische Unterschiede bestehen. Die bei gleichem GGV höhere Chloridkonzentration im WW in N-Brandenburg (ca. 42 mg/l) im Vergleich zu dem in M-Brandenburg (ca. 35 mg/l) weist darauf hin, dass im mittelbrandenburgischen WW der noch verfügbare Süßwasseranteil geringer ist. Daraus ergibt sich, dass trotzt niedrigerer absoluter Chloridwerte diese Teilfassung höher intrusionsgefährdet ist, als das Wasserwerk in Nordbrandenburg. Die Wasserwerke sind in Nord-Süd-Richtung etwa 100 km voneinander entfernt.

Außer der Beurteilung von Brunnen im Förderbetrieb einer Wasserfassung kann das Gefährdungspotential einer identifizierten Salzwasseraufstiegsbahn auch an entsprechenden Grundwasser-Messstellen (GWM) im betroffenen süßwasserführenden Grundwasserleiter relativ verlässlich eingeschätzt werden. Die Einbeziehung der genetischen Koeffizienten und gegebenenfalls weiterer Salzverhältnisse ermöglicht eine Beurteilung der Intensität des Salzwassertransportes und der damit noch verbundenen Vorratsanteile. Dafür sind kurzzeitige Testpumpversuche mit geringem Leistungsumfang ausreichend. Das Beispiel (09.05.2005) der GWM 5 mit Filtereinbau im hangenden Bereich des ungeschützten Grundwasserleiters im südwestlichen Randbereich des Naturparkes Stechlin zeigt, dass intrusive, d. h. durch Eigendynamik gesteuerte Salzwässer auch in Grundwasserneubildungsgebieten den Ruhewasserspiegel erreichen können (Tab. 4):

Interpretation:
Die Entwicklung des GGV belegt, dass im Standortbereich eine stabile Salzwasseraufstiegsbahn ausgebildet ist, die durch Aktivierung der Grundwasserneubildung (GWN), abgeleitet aus dem Ansteigen des SIK, ausgesüßt werden kann. Da der SMK nicht auf diese Entwicklung reagiert, muss eine mit dem Salzwassertransport verbundene zusätzliche, nicht salinare Liegend-Speisung ausgebildet sein. Diese wird auch dadurch belegt, dass bei steigenden Anteilen der GWN die Nitrat-Konzentration fällt. Die Stickstoffeinträge haben also keine anthropogene, sondern eine geogene Ursache und sind auf eine Ammoniumoxidation im vergleichsweise sauerstoffreichen obersten Grundwasserleiter zurückzuführen. Die hohe organische Belastung der Liegenspeisung kann entweder aus dem Salzwasserstockwerk selbst stammen, oder wird durch die Passage tertiärer Sedimente und/oder die Entlastung organisch geprägter Sedimente in den Quartär-Ausräumungszonen verursacht.
Dem gleichen genetischen System angehörende Wässer, jedoch mit erheblich höherem Konzentrationsniveau (Clorid > 1000 mg/l), wurden auch als Salzwasser-Arteser im Grundwasserzehrgebiet der Nuthe-Niederung südlich von Potsdam angetroffen und zwar in deren oberstem, ungeschützten Grundwasserleiter. In den von salinarer Intrusion betroffenen Wasserwerken zeigt dieser genetische Typ den dynamischsten Teil der jeweiligen salinaren Aufstiegsbahn an.
Für den untersuchten Standortbereich ist eine zusätzliche Absenkung des Grundwasserspiegels wegen der damit verbundenen Reduzierung der Grundwasserneubildung nicht zu empfehlen, da eine Aktivierung der salinaren Intrusion wahrscheinlich ist.

Nach den bisher vorliegenden genetischen Informationen auf hydrogeochemischer Grundlage lassen sich die geogenen Wässer in Bezug auf ihre Versalzungsgefährdung für Süßwasser führende Grundwasserleiter entsprechenden Konzentrationsbereichen von Chlorid zuordnen. Sie können als Orientierung für die Beurteilung von ausschließlich geogenen Hintergrundwerten im Land Brandenburg herangezogen werden:

Tab. 4 Hydrogeochemiche und genetische Ergebnisse einer GWM
Tab. 4 Hydrogeochemical and genetic results of a GWM

Zeit (min)	Cl (mg/l)	NH_4 (mg/l)	NO_3 (mg/l)	GGV	SMK	SIK
0	132,0	< 0,05	5,4	< 0,01	0,7	2,0
10	92,0	< 0,05	3,5	0,01	0,9	2,7
20	79,0	< 0,05	3,0	0,01	0,8	3,1
30	76,2	< 0,05	2,8	0,01	0,9	3,4
40	68,8	< 0,05	2,7	0,01	0,8	3,3
50	66,6	< 0,05	2,6	0,01	0,8	3,4
60	67,6	< 0,05	2,5	0,02	0,9	3,6
70	62,0	< 0,05	2,4	0,02	0,8	3,7

geogenes Süßwasser	< 15 mg/l Cl
diffus migrierende Salzwässer	ca. 25 mg/l Cl
migrierende Salzwässer	ca. 50 mg/l Cl
intrusive Salzwässer	> 50 mg/l Cl

Modifizierend wirken anthropogene Aufsattelungen, wie z. B. Auftausalze, kommunales und landwirtschaftliches Abwasser, Mineraldünger und industriell bedingte Stoffeinträge.

Liegen die Grundwasserlagerstätten im in nordwestliche Richtung zunehmenden Einflussbereich mariner Niederschläge, steigen die oben genannten Chloridkonzentrationen ebenfalls an und die Background-Konzentrationen ändern sich entsprechend. Trotz eines dann überwiegenden marin-salinaren Eintrages in die Grundwasserleiter ist es möglich, diese von den geogen-salinaren Tiefenwässern bei ähnlichen Chlorid-Konzentrationen durch andere zum Modell gehörende Berechnungssalze zu unterscheiden.

4. Anwendungshinweise

Trotz des schon erreichten Entwicklungsstandes sind noch einige Probleme zu lösen. So erweist es sich unter bestimmten Umständen als schwierig, bergmännisch gewonnene Salze (Auftausalze, Siliersalze, technogene Salze) von denen des geogenen Salinars auf Grund ihrer ursächlich gemeinsamen Herkunft zu unterscheiden. Insbesondere gilt dies, wenn sowohl die Flächennutzung als auch die geologische Position ihre gleichzeitige Anwesenheit nicht ausschließen. Des Weiteren wird das GGV durch geogene Stoffeinträge aus dem Niederschlag, der Liegendspeisung (beispielsweise aus dem Tertiär) und anthropogene aus der Grundwasserneubildung (u. a. Abwasser, Mineraldünger) beeinflusst.
Grundsätzlich dürfen das GGV und andere Salzverhältnisse des Modells „USGMH“ nur zusammen mit sorgfältigen Recherchen zu den hydrogeologischen Verhältnissen sowie zur Flächennutzung im untersuchten Standortbereich erfolgen. Nur unter dieser Voraussetzung ist ein beträchtlicher Informationsgewinn aus den hydrogeochemisch-genetischen Befunden für die umfassende Bewertung hydrogeologischer Sachverhalte zu erzielen. Insbesondere bei Demonstrativpumpversuchen ist es nachweislich möglich, einen Süßwasservorrat auf seine Gefährdung durch zunehmende salinare und/oder organisch geprägte Liegend-Speisung zu untersuchen und Schlussfolgerungen auf seine zukünftige Entwicklung (welcher Speisungsanteil wird aktiviert) zu ziehen. Geohydraulische Auswertungsverfahren erbringen hier, wenn überhaupt, dann nur mit großem Aufwand belastbare Ergebnisse.
Verlaufskurven von GGV, SMK und SIK ermöglichen eine frühzeitige Erkennung und Überwachung des Gefährdungspotentials salinarer Wässer. Mit ihrer Hilfe kann die Konzentrationsentwicklung von Chlorid wesentlich besser beurteilt und der „Umgang“ mit dem betroffenen Einzugsgebiet qualifiziert werden. Zum Abgleich sollte auch die Bromidentwicklung herangezogen werden.

Nachdrücklich darauf hinzuweisen ist, dass nicht nur das Genetische Grund-Verhältnis von der richtigen Ermittlung der Modellsalze abhängig ist. Hierzu sind für die Koeffizienten des Genese-Modells spezielle Prüfverfahren zur Repräsentanz ihrer Berechnung entwickelt worden, die noch weiter präzisiert werden.
Die für grundwassergenetische Untersuchungen an die Analytik zu stellenden Anforderungen liegen deutlich über den derzeitigen Vorschriften, sind aber nachweislich auch im Routinebetrieb durch spezialisierte Labore zu erbringen. Die Gesamtbilanz der in der Berechnungsmatrix derzeit verwendeten mehr als 20 Modellionen (> 99 % der Lösung) sollte bei der Fehlerbetrachtung (e) 0,5 % nicht wesentlich übersteigen. Schon Bilanzfehler von e ~ 1 % sind nur durch aufwändige modellinterne Prüfverfahren annähernd auszugleichen. Dieser Sachverhalt ist unbedingt zu berücksichtigen, da die genetischen Informationen durch Bilanzabweichungen in der Analytik nachhaltig verfälscht werden können.
Hierzu zählt insbesondere auch der scheinbare Bilanzausgleich durch gleichzeitig fehlerhafte Kationen- und Anionen-Bestimmungen. Diese bewirken im Modell dann darin begründete interpretative Falschaussagen, die durch die derzeitigen Prüfverfahren noch nicht sicher erkannt werden. In jedem Falle ist es unerlässlich, dass die gewonnenen genetischen Informationen mit den konkreten Standortbedingungen abgeglichen werden. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass sich nach aufwändigen Standortanalysen zunächst überraschende genetische Befunde sehr oft bestätigt haben.

5. Ausblick und Visualisierung

Mit dem erreichten Kenntnisstand lassen sich schon jetzt frühzeitig nicht nur Süßwässer und deren Speisungsanteile zuordnen, sondern insbesondere Wässer mit salinarem Hintergrund, auch ohne signifikante Erhöhung der Chlorid-Konzentrationen erkennen. Daraus ableitbar sind Schlussfolgerungen zu ihrem Transportweg und ihr Gefährdungspotenzial für das Süßwasserstockwerk und deren Oberflächengewässer.
Die Visualisierung der Ergebnisse wird zukünftig in einer speziell darauf zugeschnittenen Darstellung erfolgen, in der die Entwicklung der Wässer vom Ursprungsort und die auf dem Transportweg wechselnden Speisungsanteile auf der Grundlage des „USGMH“ verfolgt werden können.

Zur vorläufigen Orientierung sind in der Abbildung 3 die Lagepunktbereiche von kaum beeinflussten geogenen Salzwässern mit in Richtung des NaCl-Pols zunehmenden geogen und/oder marin-salinarem Stoffeintrag in das Süßwasserstockwerk dargestellt.

In den meist geogenen Bereichen können auch anthropogene Beeinflussungen bis hin zum marin geprägten Niederschlag auftreten. Dieser stellt den eigentlichen Hintergrund der Grundwasserneubildung dar, kann jedoch durch Rauchgase von Industrie und Verkehr verändert sein. Die Identi-

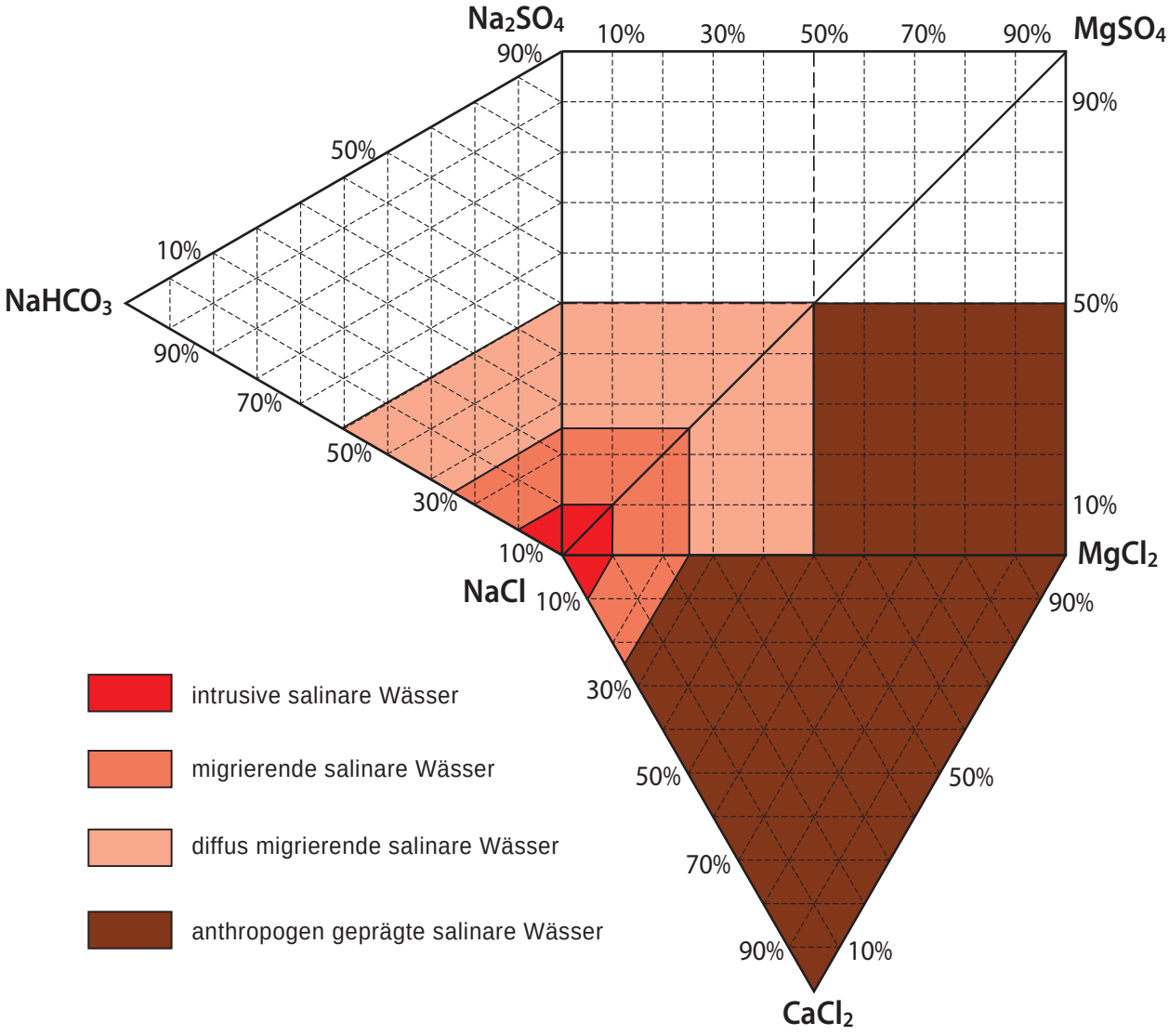


Abb. 3
VALJASHKO- Diagramm mit Lagepunktbereichen von überwiegend geogen/marin- und anthropogen-salinaren Wässern im Süßwasserstockwerk (RECHLIN 2008)

Fig. 2

Hydrogeochemical genetic interpretation model pictured in the Valjasko diagram showing positions of dominant geogene – marine and anthropogenic - salinar influx within the sweet-water level

fizierung wird durch grundwassergenetische Informationen ermöglicht.
Zur Information sind die Verdachtsbereiche mit einem Überwiegen von anthropogen geprägten Salzwässern mit ausgegrenzt worden, in denen umgekehrt auch noch geogene Stoffeinträge möglich sind.
Zur Veranschaulichung sind in der Abbildung 4 der einheitliche Lagepunkt der marinen Oberflächengewässer der Erde und typische Lagepunktbereiche von Schichtwässern des Salzwasserstockwerkes dargestellt. Der ursprüngliche Lösungsinhalt seiner geologisch begründeten Aquifere, kann durch dafür untypische Salzwässer (NaCl-Wässer im Rotliegenden) nachhaltig verändert sein und weist auf Transportvorgänge und/oder geologische Aktivitäten in diesem Stockwerk hin.

Zu beachten ist, dass in den Diagrammen des Lagepunktkonzeptes keine scharfen Grenzen, sondern fließende Übergänge existieren, die die sich verändernden Anteile in der Lösung anzeigen.

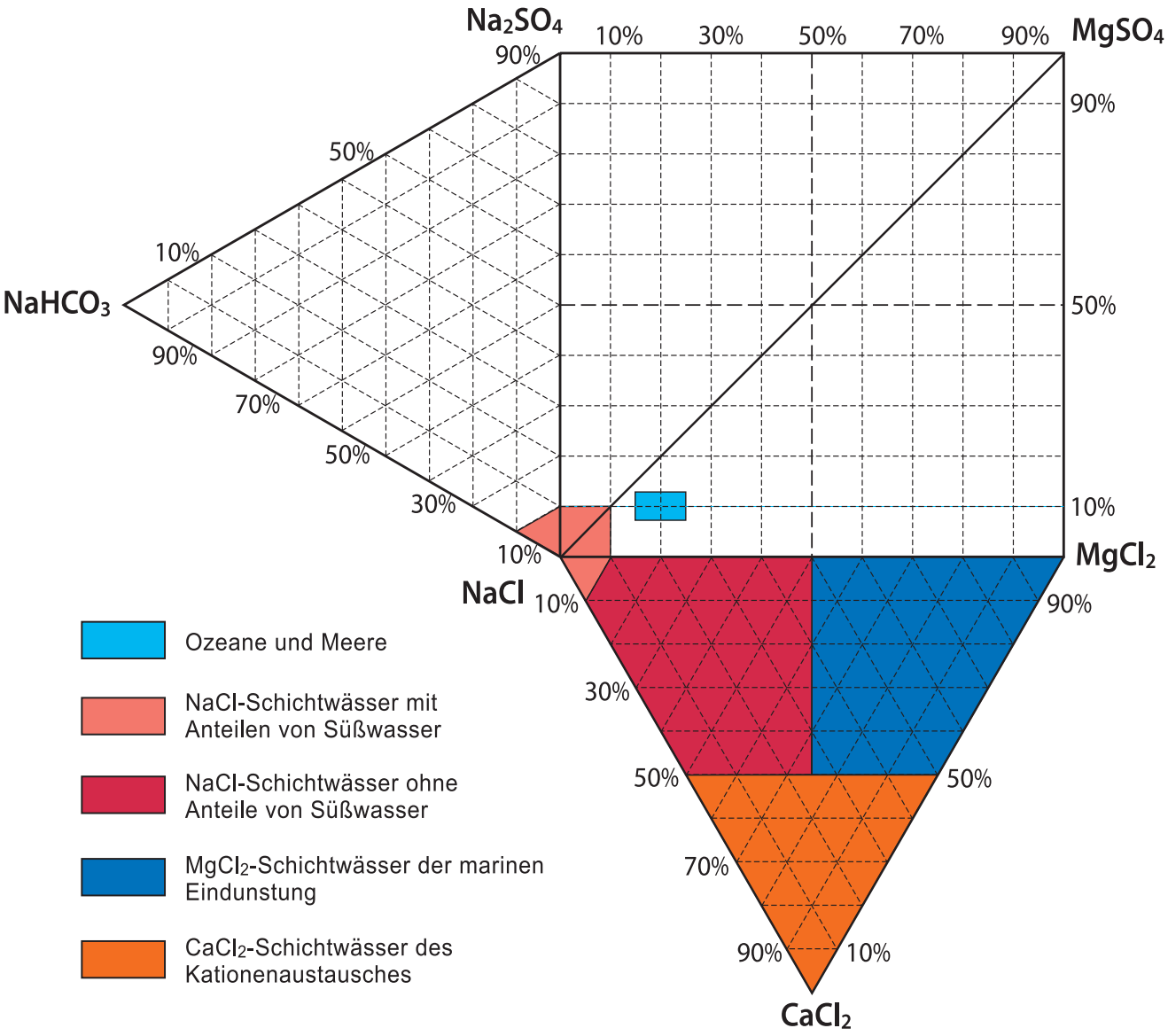


Abb. 4
VALJASHKO-Diagramm mit Lagepunktbereich der Ozeane/Weltmeere und von typischen Schichtwässern des Salzwasserstockwerkes (RECHLIN 2008)

Fig. 4
Hydrogeochemical genetic interpretation model pictured in the Valjasko diagram showing positions of the oceans and of typical ground water of the salt-water level

Zusammenfassung

Der Lösungsinhalt von Wässern unterschiedlicher Herkunft wird im noch nicht abschließend fertiggestellten grundwassergenetischen Genese-Modell „USGMH“ typisiert und die ursächliche Herkunft ihrer prägenden Anteile ermittelt. Diese werden zu einem späteren Zeitpunkt in einer speziellen Darstellung visualisiert.

Zur Früherkennung der Anwesenheit von Salzwasser in süßwasserführenden Grund- und Oberflächenwässern ist das aus der komplexen Berechnungsmatrix des Modells abgeleitete Genetische-Grund-Verhältnisses „GGV“ in besonderem Maße geeignet. Es wirkt konzentrationsunabhängig und wird bei geogen-salinarem Stoffeintrag von der unterschiedlichen hydrogeochemischen Zusammensetzung der untersuchten Wässer nur noch wenig beeinflusst.

Für die Untersuchungen sind die erhöhten Genauigkeitsanforderungen des Modells an die Analytik unbedingt zu beachten.

Die Kombination des geochemischen Diagramms nach VALJASHKO 1961 und die Verifizierung der darin ermittelten Lagepunkte mit dem vereinfachten GGV ermöglicht die orientierende Beurteilung eines salinaren Stoffeintrages, insbesondere die Bewertung einer geogen-salinaren Intrusion. Auf dieser Grundlage können frühzeitig Abwehrstrategien zu ihrer Beherrschung entwickelt werden.

Summary

The chemical content of groundwater of differet origin can be standardized by the Hydrogeochemical genetic interpretation model of groundwater (USGMH). Although the model hasn‘t been fully completed yet it allows the analysis of the primary origin of the formative rates.
The “Genetische Grund-Verhältnis” GGV (genetic basic relation) particularly allows the early detection of the intrusion of salt water into the sweet-water level (ground water and surface water). It works independently from concentration and is only marginally influenced by the differing chemical composition of the examined ground water at geogene saliniferous input.
When combining the geochemical diagram after VALJASKO (1961) and the verfication of the enclosed positionings with the simplified GGV it is possible to reach an orienting assessment of a saliniferous input and especially of saliniferous intrusions at an early stage. This can serve as a basis for developing strategies to precociously controll theses intrusions.

Danksagung

Mein besonderer Dank für die Unterstützung bei der Ausarbeitung des Manuskripts und für die kritische Durchsicht gilt Herrn Dipl.-Geol. D. Brose, Frau Dipl.-Geoln. A. Hermsdorf, Herrn Dr. W. Stackebrandt sowie Frau Dipl.-Geophys. A. Andreae.

Literatur

Kaboth, U., Rechlin, B. & G. Ginzel, (2008): Besteht für unsere Seen eine geogene Versalzungsgefahr? Hydrochemisch-genetische Untersuchungen von Speisungsbedingungen an Seen im Naturpark Stechlin. - Brandenburg. geowiss. Beitr. **15**, 1/2, S. 69-79 , Kleinmachnow

Lehmann, H. W. (1974): Geochemie und Genesis der Tiefenwässer der Nordostdeutschen Senke. - Z. f. Angew. Geologie **20**, 11/12, S. 501-509, Berlin

Rechlin, B. (1997): Zur Anwendung des Hydrogeochemischen Genesemodells der Wässer in den Grundwasserleitern des Landes Brandenburg. - Brandenburg. geowiss. Beitr. **4**, 1, S. 67-71, Kleinmachnow

Valjashko, M. G. (1961): Geochemie der Halokinese. - In: Sb. Tr. Geol. Fakut. Moskau, Izdat. Mosk. Univ. (russ)

Valjashko, M. G. (1962): Geochemische Gesetzmäßigkeiten der Entstehung der Kalisalzlagerstätten. - Verlag der Moskauer Universität (russ.); 104 S. in einer Übersetzung der Zentralen Forschungsstelle der Kali-Industrie TU Leuna-Merseburg

Anschrift des Autors:
Dipl.-Geol. Berthold Rechlin
Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe
Außenstelle Kleinmachnow, Bereich Geologie
Stahnsdorfer Damm 77
14532 Kleinmachnow

Mitteilung aus dem Landesamt No. 218

Brandenburg. geowiss. Beitr.	Kleinmachnow, Cottbus	**15** (2008), 1/2	S. 69-79	10 Abb., 1 Tab., 10 Lit.

Besteht für unsere Seen eine geogene Versalzungsgefahr?

Hydrochemisch-genetische Untersuchungen von Speisungsbedingungen an Seen im Naturpark Stechlin

Are our lakes endangered by geogene salinisation?

Hydrochemical-genetical investigations of conditions for alimentation of the lakes in the natural park Stechlin

Uwe Kaboth, Berthold Rechlin & Gerhard Ginzel

1. Einleitung und Aufgabenstellung

Der Einfluss von geogenen Salzwässern auf Oberflächengewässer ist in Norddeutschland verschiedentlich beschrieben worden. Ausführliche Darstellungen sind bei Grube et al. (2000) zusammengestellt. In Brandenburg besteht der tiefere Untergrund aus einer jungpaläozoischen und mesozoischen Schichtenfolge, deren Wässer hochmineralisiert sind (bis max. 200 g/l). Darüber befindet sich in der tertiären Schichtenfolge der oligozäne Rupelton, der das liegende Salzwasserstockwerk vom hangenden Süßwasserstockwerk trennt. Der Rupelton wurde während des Pleistozäns in bestimmten Gebieten teilweise oder vollständig erodiert, so dass lokal hochmineralisierte Tiefenwässer in die Süßwasserhorizonte eindringen können.
Dieser Vorgang ist in Brandenburg an zahlreichen natürlichen Salzwasseraustritten an der Oberfläche zu beobachten. Aufgrund des erheblichen Druckpotenzials des Salzwasserstockwerkes können sich die Transportwege bis in einige Kilometer Entfernung erstrecken. Diese natürlichen Prozesse können durch anthropogene Eingriffe beschleunigt werden. Es gibt zahlreiche Wasserwerke, in denen es bereits durch unverhältnismäßige Grundwasserentnahmen zu Versalzungen bis hin zu einer nur noch stark eingeschränkten Nutzbarkeit gekommen ist.

Es stellt sich die Frage, wie sich der globale Klimawandel auf die Migration von versalzenen Tiefenwässern in die Süßwasserhorizonte auswirken wird. Zur Klärung dieser Problematik können sensible hydrochemisch-genetische Verfahren eingesetzt werden, die am LBGR entwickelt wurden (Rechlin 1997, 2008). Als Beispielgebiet wurde der Naturpark Stechlin ausgewählt, der durch zahlreiche hydrogeologische Arbeiten im Rahmen des Naturschutzes unter-

Abb. 1
Stechlinsee
Fig. 1
Lake Stechlinsee

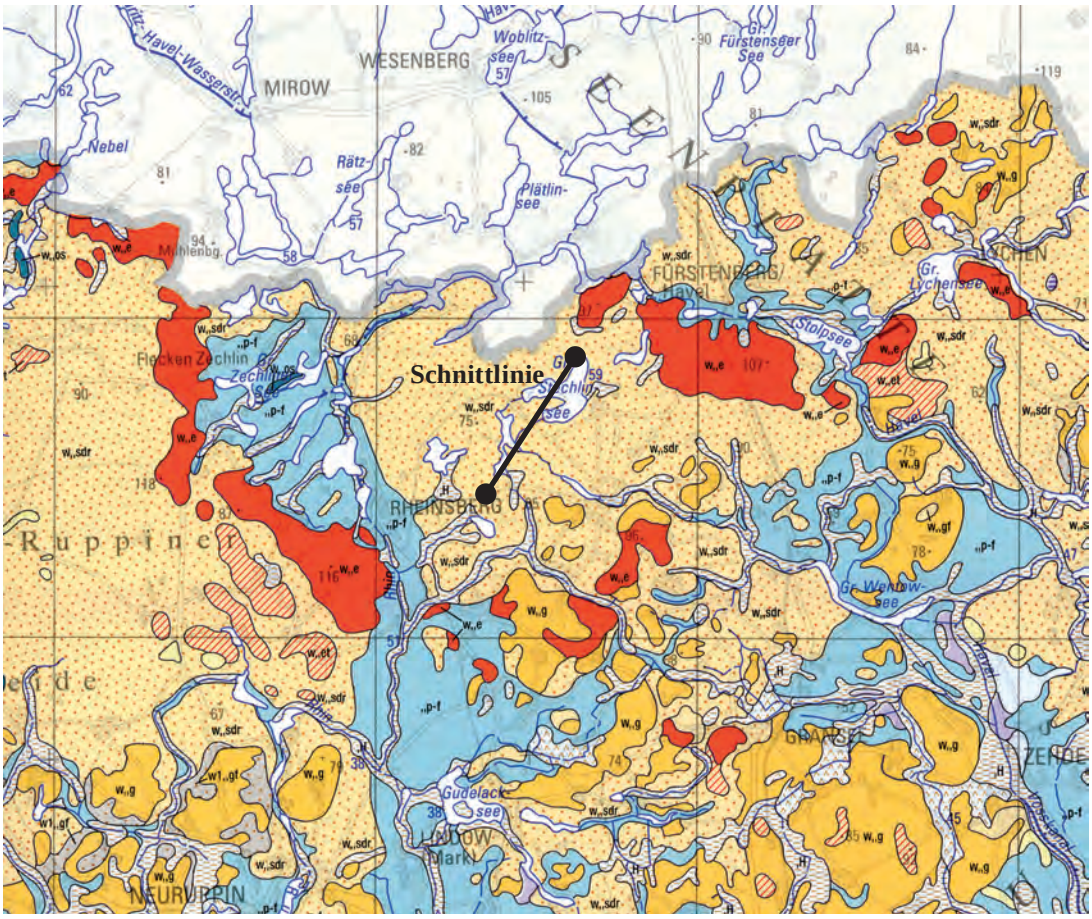


Abb. 2
Regionalgeologische Übersicht (Ausschnitt der Geologischen Übersichtskarte des Landes Brandenburg 1 : 300 000, LIPPSTREU et al. 1997)

Fig. 2
Overview of regional geology (A section of the General Geological Map of Brandenburg 1 : 300 000, LIPPSTREU et al. 1997)

sucht wurde (GINZEL et al. 1999, 2002) und in dem bislang keine geogenen Versalzungen im oberflächennahen Bereich festgestellt werden konnten.

2. Untersuchungsgebiet

2.1 Geologie

Der Naturpark Stechlin ist durch die Ablagerungen der Weichselkaltzeit geprägt, es liegt zwischen den Eisrandlagen der Frankfurter Staffel im Süden sowie der Fürstenberger Staffel im Norden. Im Vorland der Fürstenberger Staffel (Abb. 2) dominieren große Sanderflächen, deren Oberflächen von ca. 80 bis 100 m NN östlich des Stechlinsees bis auf 60 m NN im Bereich des Köpernitzsees abfallen. Die Sander bilden mit den glazifluviatilen Sanden im Liegenden einen bis zu 50 m mächtigen Grundwasserleiter, der als Hauptgrundwasserleiter des Gebietes fungiert (Abb. 3, Schnittlinie Abb. 2).

Während der Weichsel-Kaltzeit erfolgte die Zerschneidung und Zertalung dieses mächtigen Schichtenkomplexes durch z. T. bereits subglazial angelegte Rinnen, die lokal, wie z. B. am heutigen Stechlinsee, mit Toteis plombiert waren. Die Erosionstiefe dieser glazifluviatilen Rinnen schwankt beträchtlich, wobei der Erosionsschnitt bis in den liegenden saalezeitlichen Geschiebemergel reichen kann.
Im Nordosten des Naturparks Stechlin treten vorwiegend sandige und kiesige Bildungen der Weichsel- und Saalekaltzeit auf, in die der Peetschsee und die beiden Glietzenseen eingebettet sind.
Die Endmoräne der Fürstenberger Staffel setzt sich überwiegend aus rolligem Material zusammen, wodurch ein direkter hydraulischer Kontakt zum Sander und eine Fortsetzung des Grundwasserleiters in nordöstliche Richtung gegeben ist.
Im Südosten des Gebietes nimmt die Mächtigkeit des Sanders ab, im Bereich der Oberförsterei Menz steht bereits Geschiebemergel an. Größere Grundmoränenkomplexe der Saalakaltzeit befinden sich westsüdwestlich von Menz, im Bereich der Wasserscheide zwischen Roofensee und kleinem Rhin. Hier beginnt der Übergangsbereich zur Granseer Grundmoränenplatte, die eine andere hydrodynamische Charakteristik besitzt. Ein unbedeckter Grundwasserleiter fehlt weitgehend. Als Hauptgrundwasserleiter ist hier ein

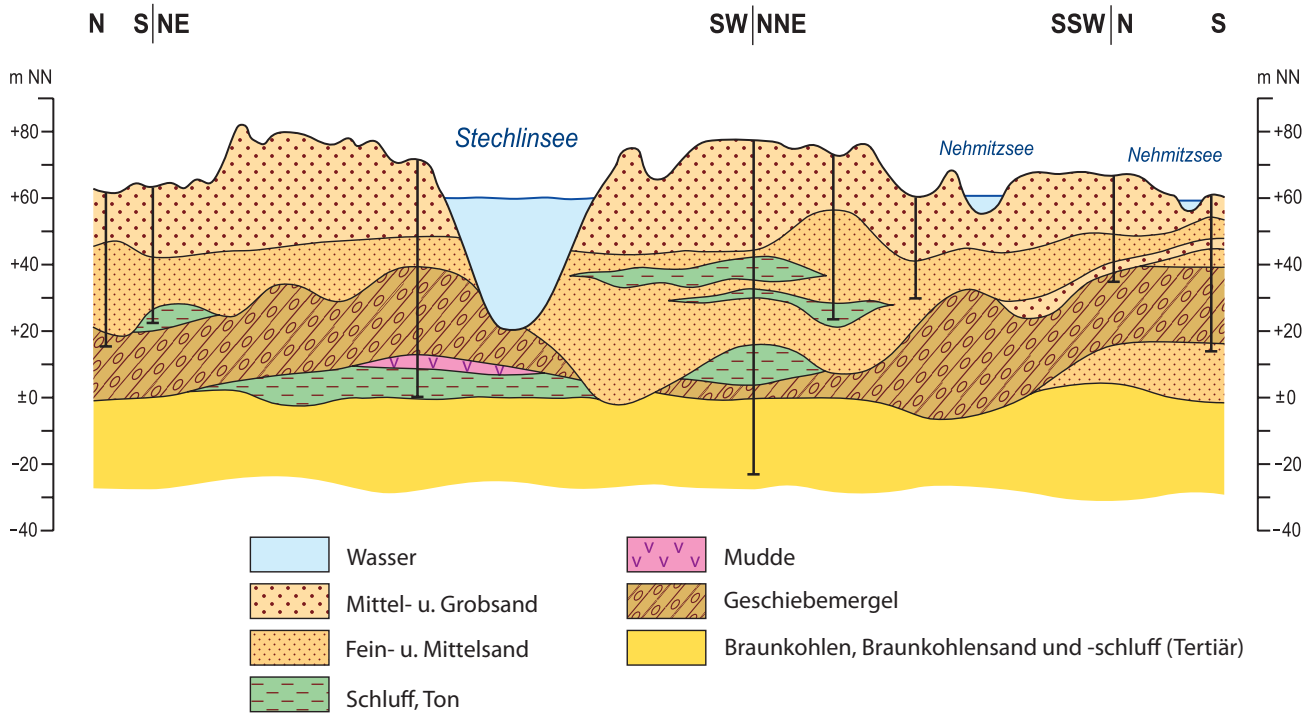


Abb. 3 Geologischer Schnitt durch das Untersuchungsgebiet
Fig. 3 Geological Section of the investigation area

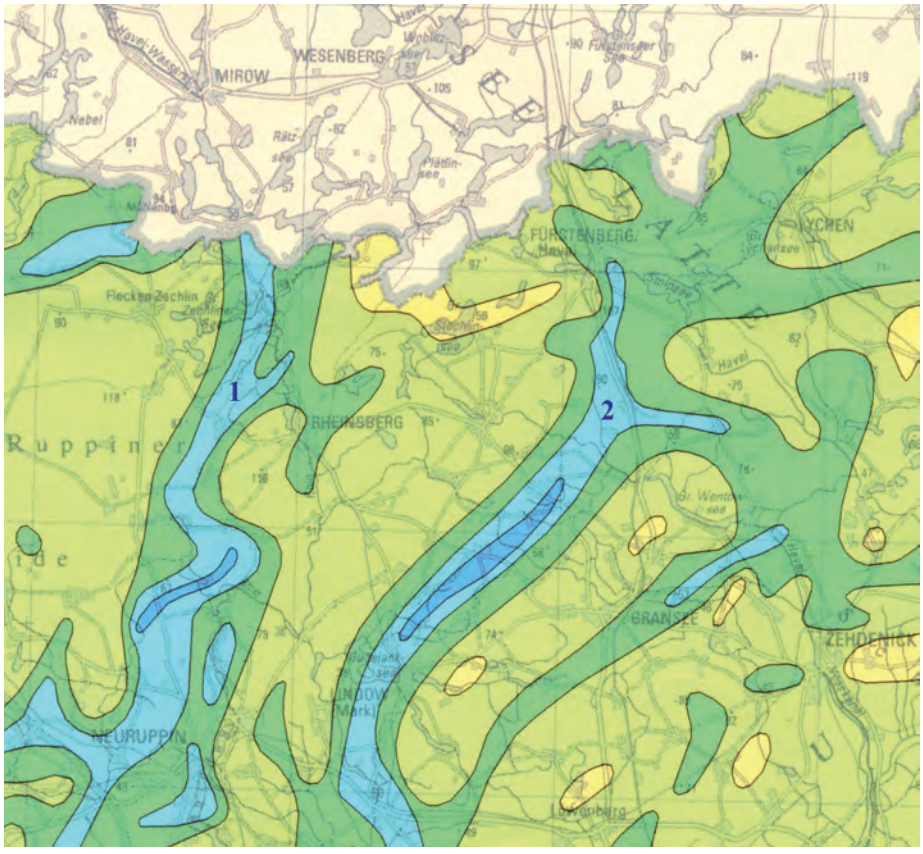


Abb. 4
Ausschnitt aus der Quartärbasiskarte des Landes Brandenburg 1 : 500 000
1 *Ruppin-Altmark Rinne*
2 *Nauen -Havelland Rinne*

Fig. 4
A section of the Quarternary basis Map of Brandenburg 1 : 500 000
1 *Ruppin-Altmark channel*
2 *Nauen-Havelland channel*

spätelster- bis frühsaalezeitlicher Sedimentkörper augebildet, der unter einem 30 bis 50 m mächtigen Geschiebemergelpaket der Saale- und Weichsel-Kaltzeit liegt.

Abbildung 4 zeigt einen Ausschnitt aus der Karte der Tiefenlage der Quartärbasisfläche des Landes Brandenburg im Maßstab 1 : 500 000 (Sonntag 2004). Infolge der un-

terschiedlichen Erosionstiefen weist die Quartärbasis große Reliefunterschiede auf und wird durch ein System von Rinnen bestimmt. Diese pleistozänen Rinnen haben sich teilweise bis in mesozoische Ablagerungen eingeschnitten, so dass der als Stauer zwischen Süß- und Salzwasserstockwerk fungierende Rupelton teilweise oder vollständig erodiert wurde. Dadurch besteht die Möglichkeit, dass bei entsprechenden hydraulischen Gegebenheiten (Druckentlastungen) geogen salinare Tiefenwässer in die hangenden Süsswasserhorizonte aufsteigen können.

2.2 Grundwasserdynamik

Die gute Durchlässigkeit der Schmelzwassersande des oben genannten Hauptgrundwasserleiters ermöglicht eine weitgehende hydraulische Verbindung des Grundwassers mit den Seen und Vorflutern. Das Grundwasser und die Oberflächengewässer bilden daher ein einheitliches hydrodynamisches System. Fast alle Seen stellen somit Grundwasseraufschlüsse (Grundwasserblänken) dar; nur wenige besitzen aufgrund ihrer Entstehung, z. B. durch das Auftreten bindiger Substrate im Sohlenbereich der Hohlform (wie z. B. die Große Fuchskuhle), ein vom Hauptgrundwasserleiter abgekoppeltes Grundwasserregime.

Das Grundwasserfließgeschehen im Naturpark Stechlin wird durch die Gestalt der Grundwasseroberfläche bestimmt (Abb. 5). Es gibt einerseits Grundwasserhochlagen (Kulminationsgebiete im Bereich der Grundwasserscheiden) mit stark schwankenden Grundwasserständen (bis zu 2 m Amplitude) und andererseits Grundwassertieflagen im Bereich der Vorfluter (Entlastungsgebiete) mit geringen Grundwasserspiegelschwankungen und weitgehender Synchronität mit den benachbarten Gewässern. Dieses natürliche System ist durch Eingriffe des Menschen, wie Kanalbauten (Polzowkanal), Wasserwerke (WW Dagow), die Anlage von Staubauwerken sowie Dränagen von Feuchtgebieten im Laufe der Jahrhunderte stark verändert worden. So lässt sich die Grundwasserdynamik im Naturpark Stechlin heute wie folgt charakterisieren (siehe Abb. 5 und 7):

- Aus dem Stechlin-Nehmitzsee-Gebiet fließt das Grundwasser bei entsprechend hohem Einstau am Regelbauwerk Nehmitzsee sowohl nach Norden (über die Boberowrinne und die Glietzenseen) in Richtung Obere

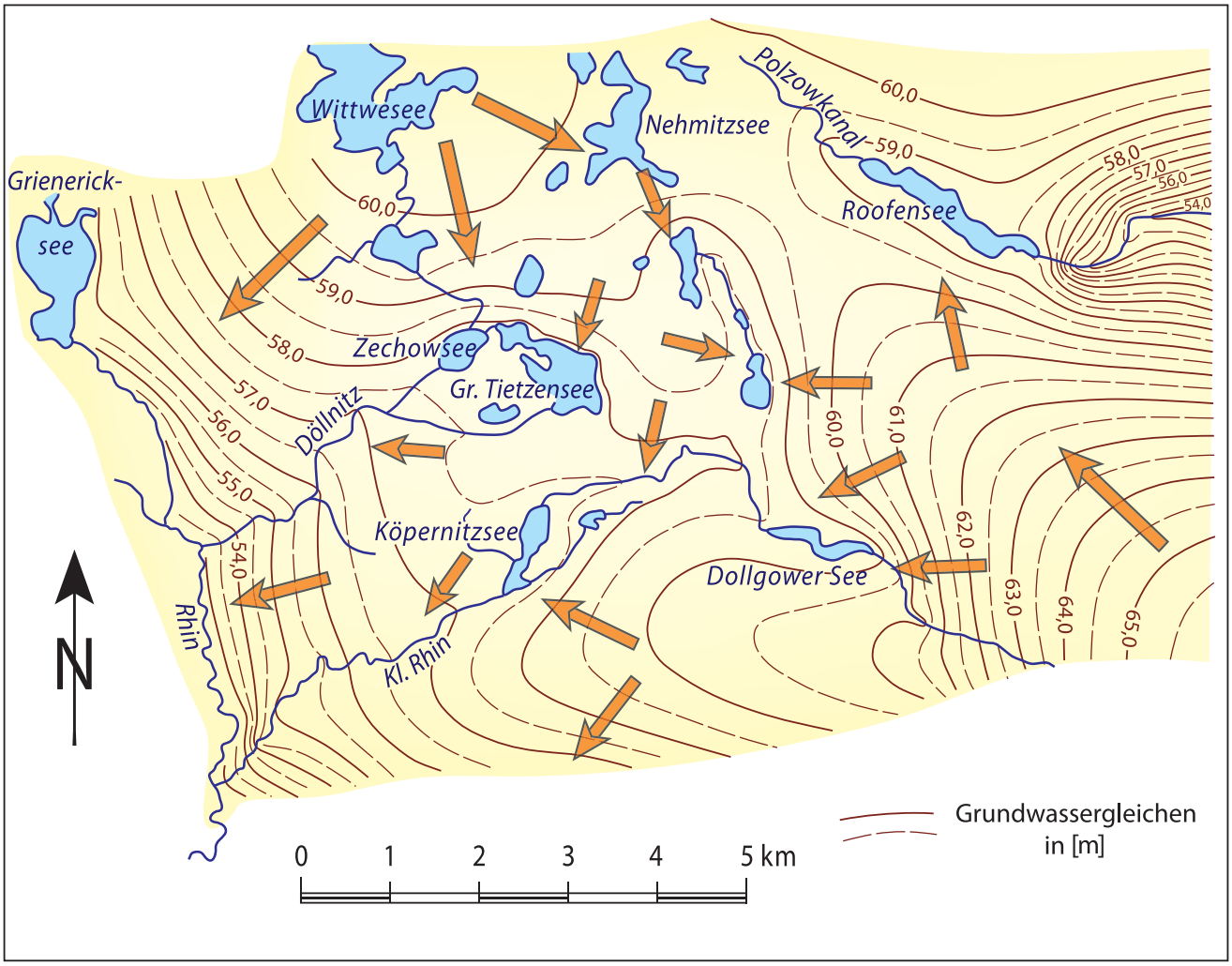


Abb. 5 Grundwasserdynamik im Südteil des Untersuchungsgebietes

Fig. 5 Groundwater dynamic in the southern part of the investigation area

Havel als auch nach Süden über den Zeutensee in das Einzugsgebiet des Kleinen Rhin ab. Zusätzlich erfolgt zeitweilig ein oberirdischer Abfluss über den Polzowkanal und die Wentowgewässer in die Obere Havel.

- Eine ähnliche Hochlage stellt der Wittwesee dar. Der Grundwasserabfluss erfolgt nach Westen zum Rheinsberger Rhin, nach Süden über den Kölpin- und Tietzensee zur Döllnitz und nach Südosten über die Törnseerinne zum Kleinen Rhin.
- Von besonderer Bedeutung für das Abflussgeschehen im Einzugsgebiet des kleinen Rhin ist der Stau am Köpernitzsee, der ein Leerlaufen des stromoberhalb liegenden Einzugsgebietes des Kleinen Rhin verhindert.

2.3 Geochemie der Seen

In den Jahren 2003 bis 2005 wurden zur hydrogeochemisch-genetischen Bewertung an 15 Seen im Naturpark Stechlin mehrere Beprobungskampagnien durchgeführt (Abb. 6). Die Beprobung erfolgte oberflächennah in ausgewählten Randbereichen der Seen, wo eine unmittelbare anthropogene Beeinflussung weitestgehend auszuschließen war. Neben den punktuellen Einzelbeprobungen wurden im Stechlinsee und im Dunkelsee Tiefen- und Längsprofile genommen.

Die Wasserproben wurden im Labor des LBGR in Kleinmachnow (jetzt LLB) aufbereitet und analysiert. Neben den Hauptinhaltsstoffen Natrium, Kalium, Magnesium, Calcium, Sulfat, Hydrogenkarbonat, Chlorid und der Stickstoffreihe konnten u. a. der gelöste organische Kohlenstoff (DOC) bestimmt werden.

Bereits im Jahre 2003 wiesen die untersuchten Parameter der Seewässer entgegen den Erwartungen eine große hydrochemische Variabilität auf. Im Allgemeinen sind die Wässer der Seen gering mineralisiert. Wie Abbildung 6 zu entnehmen ist, streuen die Gehalte der Gesamtmineralisation bei einem Durchschnitt von 252 mg/l zwischen 174 mg/l im Wittwesee und 467 mg/l im Wotzensee außerordentlich stark. Maßgeblichen Anteil daran haben die unterschiedlichen Sulfatkonzentrationen, die sich zwischen 19 mg/l im Wittwesee und 197 mg/l im Großen Tietzensee bewegen. Eine ähnlich starke Heterogenität zeigen die Chloridgehalte in den Seen. Die Chloridgehalte der Seen vom August 2003, einschließlich der Hydroisohypsen des Hauptgrundwasserleiters sind in Abbildung 7 dargestellt. Die geringsten Chloridkonzentrationen wurden für den Wittwesee, den Nehmitzsee und den Stechlinsee mit Werten von 12 bis 16 mg/l ermittelt. Die höchsten Chloridgehalte liegen mit 34 mg/l im Dollgower See sowie stromunterhalb im Kleinen Rhin bis einschließlich Köpernitzsee mit 31 bis 28 mg/l.

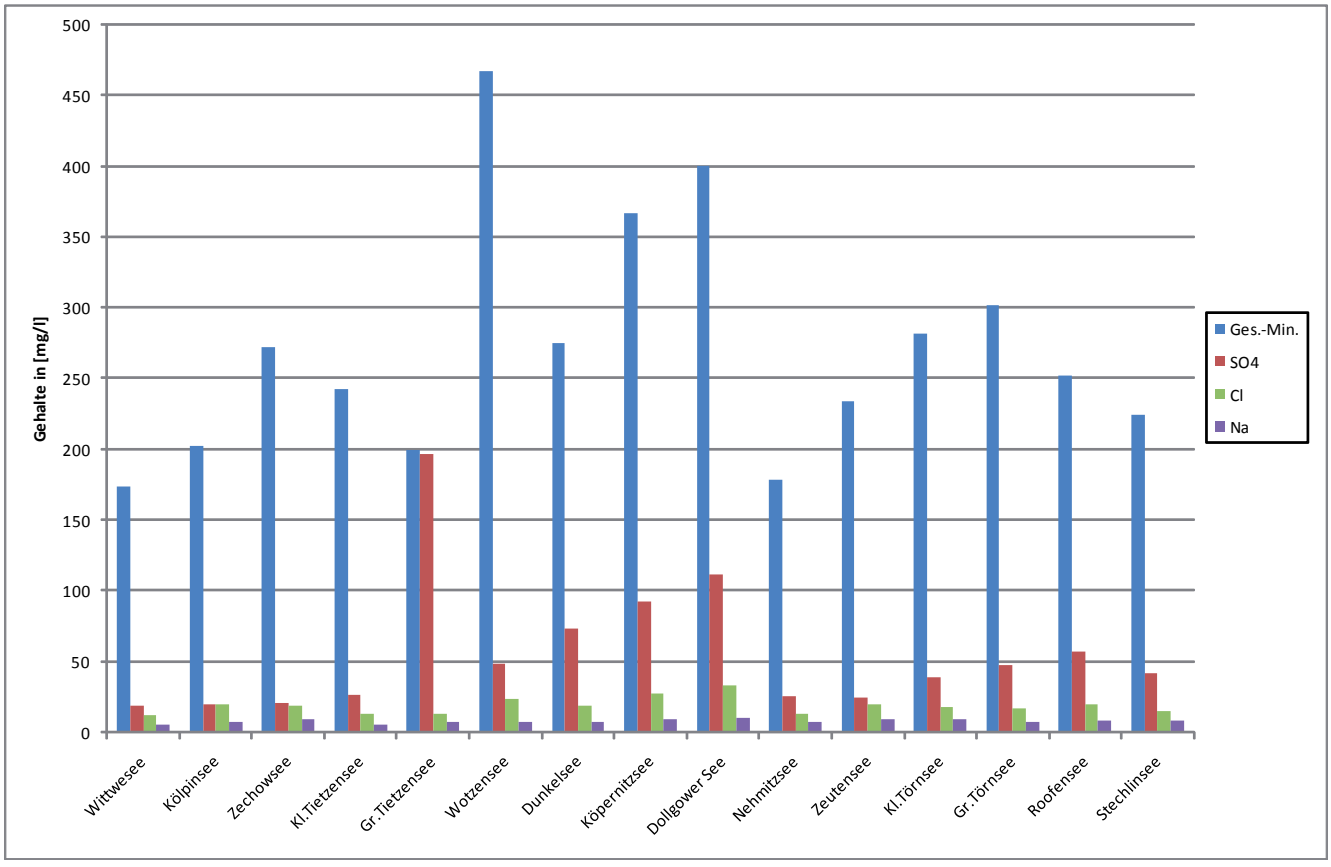


Abb. 6 Relevante Seenparameter, August 2003

Fig. 6 Relevant hydrochemical parameters resulting from the lake investigation in August 2003

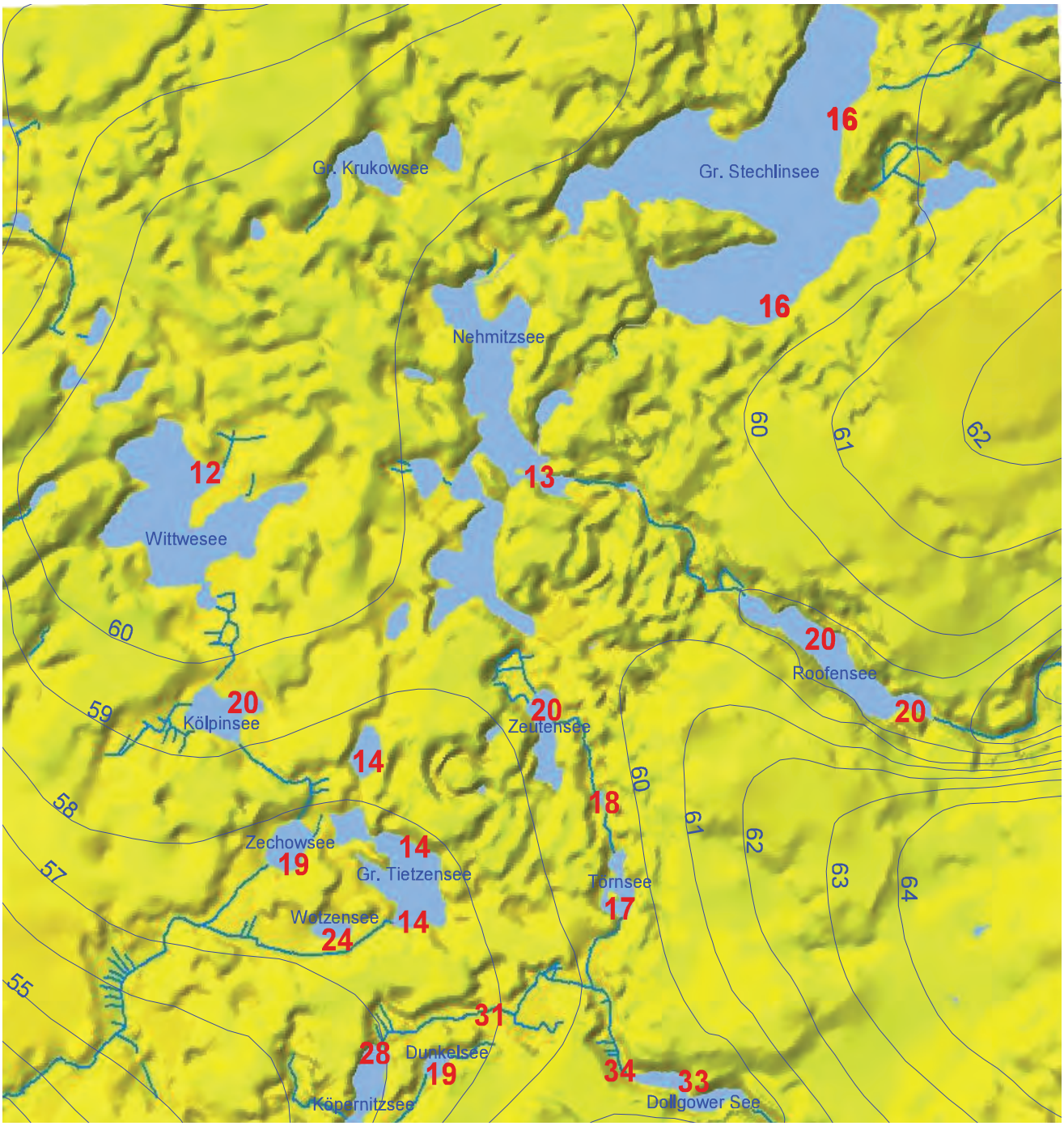


Abb. 7 Chloridgehalte [mg/l] der Seen in, August 2003

Fig. 7 Results of chloride content [mg/l] in the lakes, August 2003

Die Analysen der Beprobungskampagnen von 2004 und 2005 zeigen eine ähnlich große hydrochemische Heterogenität mit den gleichen signifikanten Anomalien, so dass sich die Frage nach den Ursachen für die unterschiedlichen Konzentrationsverteilungen stellt.

Aus der Fülle der in Frage kommenden möglichen hydrochemischen Einflussfaktoren scheinen unterschiedliche Speisungsanteile der Seen die dominierende Rolle zu spielen. Die Speisungsanteile setzen sich aus dem Niederschlag, dem Oberflächenzufluss, dem Interflow, dem Grundwasserzustrom und gegebenenfalls aus dem Tiefenwasserzustrom zusammen, wobei die unterschiedlichen Anteile durch das Klima, die geologische Struktur und die Position der Seen innerhalb des Grundwassersystems gesteuert werden. Es galt, die unterschiedlichen Speisungsanteile unter besonderer Berücksichtigung der salinaren Tiefenwässer zu identifizieren, wobei der anthropogene Faktor nicht vernachlässigt werden durfte.

Nr.	Seename	August 2003					August 2004					August 2005				
		Analysen-fehler [%]	GGV	Anteile von NOIG [%]	Anteile salinarer Tiefen-wässer [%]	Anteile anthrop. Stoff-einträge [%]	Analysen-fehler [%]	GGV	Anteile von NOIG [%]	Anteile salinarer Tiefen-wässer [%]	Anteile anthrop. Stoff-einträge [%]	Analysen-fehler [%]	GGV	Anteile von NOIG [%]	Anteile salinarer Tiefen-wässer [%]	Anteile anthrop. Stoff-einträge [%]
1	Wittwesee	<1	>0,1	100			<0,5	>0,1	100			<1	>0,1	100		
2	Kölpinsee	<1	<0,1	100			<1	<0,1	100			3,5				
3	Zechowsee	>2					<0,5	<0,05	<90	>10		<1	<0.05	<90	>10	
4	Kl. Tietzensee	<1		100			<1	>0,1	100			<1	>0,1	100		
5	Gr. Tietzensee	<1	<0,05	<90	>10		<1	<0,1	90	10		<1	<0,05	90	10	
6	Wotzensee	<1	<0,05	<90	>10		>3					<1	<0,05	<90	>10	
7	Dunkelsee	<1	<0,05	<90	>10		<1	<0,05	<90	>10		<1	<0,1	96	4	
8	Köpernitzsee	<1	>0,1	93		7	1,5	>0,1	93		7	<1	>0,1	96		4
9	Dollgower See	<1	>0,1	92		8	<1	>0,1	91		9	<0,5	>0,1	93		7
10	Nehmitzsee	<1	<0,1	100			<1	<0,1	100			<1	<0,1	100		
11	Zeutensee	<1	<0,05	<90	>10		<1	<0,1	<90	>10		<1	<0,1	<90	>10	
12	Kl. Törnsee	<1	<0,1	100			keine Analysen					keine Analysen				
13	Gr. Törnsee	keine Analysen					2	<0,05	<90	>10		<1	<0,05	<90	>10	
14	Roofensee	<1		94		6	<1		94		6	<0,5		100		
15	Stechlinsee	<1	<0,1	100			<1	>0,1	100			<1	>0,1	100		

NOIG: Speisung von Niederschlag, Oberflächenzufluß, Interflow, Grundwasserzustrom

Tab. 1 Speisungsanteile der Seewässer

Tab. 1 Proportionate alimentation of lakewaters

3. Untersuchungsmethodik

Unter Nutzung einer für hochkonzentrierte Wässer entwickelten geochemischen Typisierung (Valjaschko 1961) und deren Darstellung in einem Lagepunktdiagramm wird seit etwa 1981 an einer hydrogeochemischen Modellvorstellung zur Beurteilung der Zusammensetzung des Grundwassers für die Süßwasserstockwerke (kurz Genesemodell) (Rechlin 1997, 2008) im LBGR gearbeitet. Darin werden die prägenden Hauptkomponenten einer Lösung nach einem Dominanzprinzip untersucht. Beide genetischen Methoden sind weitgehend konzentrationsunabhängig. Im Unterschied zum Lagepunktkonzept nach Valjaschko (1961) ist die Systematik im Genesemodell so beschaffen, dass die Herkunft der geogenen und/oder anthropogenen Wässer auch bei großer Verdünnung identifiziert werden kann. Insofern konnte diese Methodik zur Charakterisierung der Seewasserbeschaffenheit unter besonderer Berücksichtigung der unterschiedlichen Speisungsanteile herangezogen werden. Eine ausführliche Beschreibung der detaillierten Methodik zur Ermittlung der Speisungsanteile findet sich in Rechlin (2008, dieser Band).

Im Rahmen der geochemisch genetischen Interpretation der Wasserinhaltsstoffe wurden in einer ersten Phase die Seewässer diagnostiziert, bei denen anthropogene Einflüsse nachweisbar waren. In einer zweiten Phase konnten dann mit dem Genesemodell und dem genetischen Grundverhältnis (GGV) die Speisungsanteile von salinaren Tiefenwässern sowie von Wässern aus liegenden Grundwasserleitern ohne aktuelle Neubildung identifiziert werden.

4. Ergebnisse und Ausblick

In Auswertung der geochemisch genetischen Interpretation der Wasserinhaltsstoffe konnten für den Dollgower See und für den Köpernitzsee signifikante anthropogene Einflüsse identifiziert werden, die wahrscheinlich stromoberhalb des Dollgower Sees eingetragen und dann entsprechend des Fließgeschehens über den Kl. Rhin bis in den Köpernitzsee gelangt sind. Beim Roofensee waren anthropogene Einträge, die in den Jahren 2003 und 2004 noch diagnostiziert werden konnten, im Jahre 2005 nicht mehr nachweisbar. Hier ist eine Verbesserung des Zustandes der Seewasserbeschaffenheit zu konstatieren.

Um die Genese der Seewässer charakterisieren zu können, ist es notwendig, die einzelnen Speisungsanteile zu bestimmen. Unter Berücksichtigung des aus der Ionenbilanz abgeleiteten Analysenfehlers wurden mit dem Genesemodell und dem genetischen Grundverhältnis (GGV) die prozentualen Speisungsanteile der Seewässer ermittelt. Dabei konnten drei Klassen von Speisungsanteilen ausgehalten werden:

1. Niederschlag, Oberflächenzufluss, Interflow, Grundwasserzustrom (NOIG)
2. salinare Tiefenwässer
3. anthropogene Stoffeinträge

Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt. Bei einer Abweichung der Ionenbilanz größer 1 % ist die Bestimmungsmethode nicht zu verwenden. Deshalb konnten für die Analysen des Kölpinsees (August 2005), des Zechowsees (August 2003) und des Wotzensees (August 2004) keine Speisungsanteile ermittelt werden. Die Ergebnisse des Doll-

Abb. 8
Dunkelsee

Fig. 8
Lake Dunkelsee

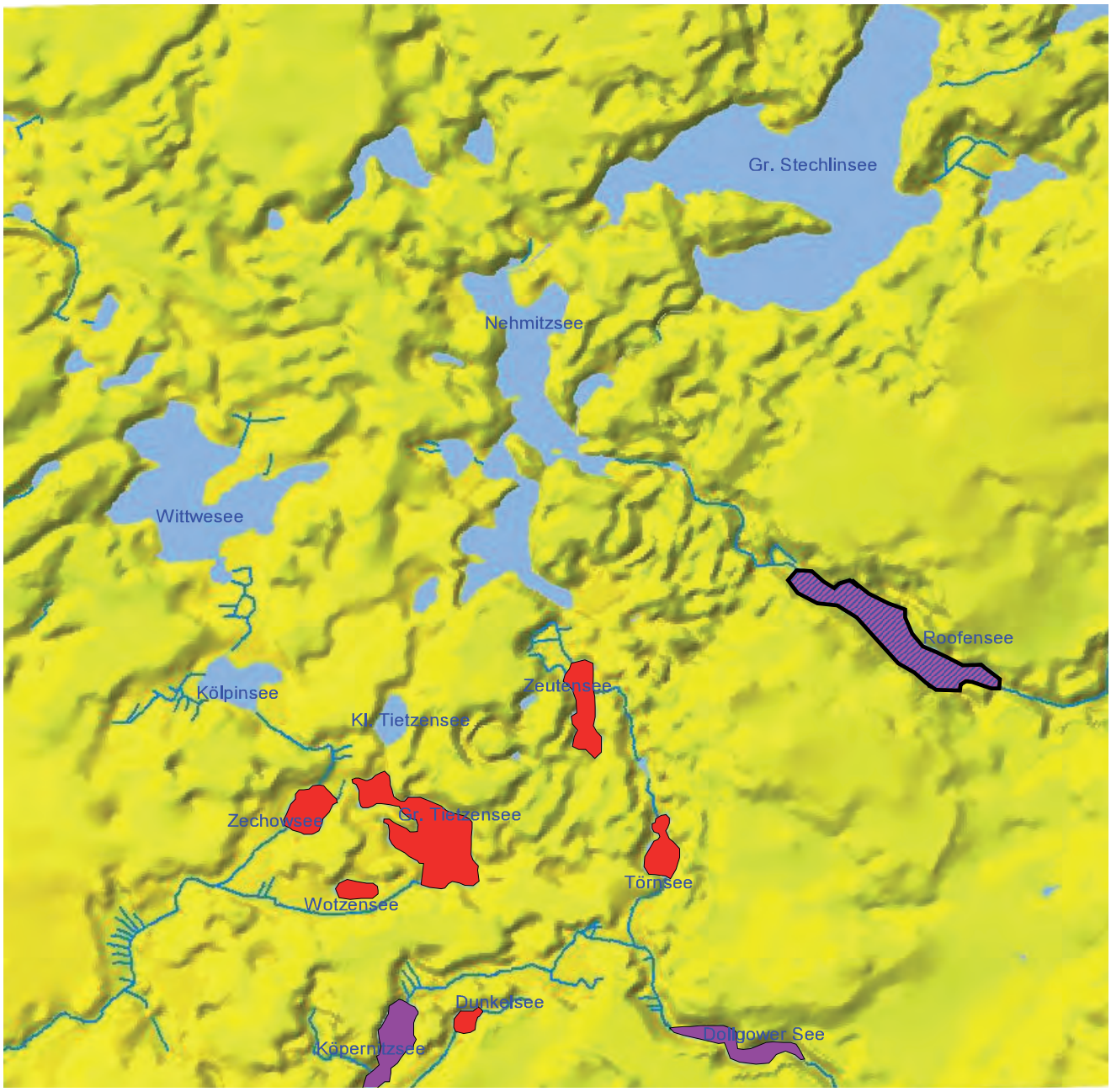


Abb. 9 Speisungsanteile der Seewässer
Fig. 9 Proportionate alimentation of lakewaters

gower Sees und des Köpernitzsees bestätigen die anthropogenen Einträge mit Speisungsanteilen zwischen 4 und 9 %.

Bei der Bestimmung der Speisungsanteile salinarer Tiefenwässer kommt dem GGV (vgl. Rechlin 2008) eine besondere Bedeutung zu. Liegt das ermittelte GGV unter dem kritischen Wert von 0,05, so ist davon auszugehen, dass die analysierten Wässer geogen salinare Anteile aufweisen. Demzufolge gehören der Zechowsee, der Gr. Tietzensee, der Wotzensee, der Dunkelsee (Abb. 8), der Zeutensee und der Gr. Törnsee zur Gruppe der Seen, bei denen die Speisung durch geogene salinare Tiefenwässer signifikant nachgewiesen werden konnte. Der Befund liefert auch die Erklärung für die erhöhten Chloridkonzentrationen dieser Seewässer. Entsprechend der Grundwasserdynamik, wie sie in Abbildung 5 und 7 dargestellt ist, liegen die durch salinare Tiefenwässer

beeinflussten Seen in einem Gebiet mit tieferen Grundwasserständen also in einem Entlastungsgebiet. Hingegen weisen die Seen mit höheren Wasserständen wie der Wittwesee, der Nehmitzsee, der Stechlinsee, der Kölpinsee und der Kl. Tietzensee, die im Nordteil des Naturparks Stechlin liegen, keine Anteile salinarer Tiefenwässer auf (vgl. Abb. 9). Die Untersuchungen belegen, dass im Südteil des Naturparks Stechlin die geologischen und hydraulischen Gegebenheiten (Druckentlastungen) ein Aufsteigen von geogen salinaren Tiefenwässern in die Klarwasserseen ermöglicht haben.

Dabei scheinen die Potenzialdifferenzen der Wasserstände in den einzelnen Grundwasserstockwerken sowie die hydraulischen Randbedingungen einen entscheidenden Einfluss zu haben. Abbildung 10 zeigt die Seewasserspiegelstände und die Chloridgehalte des Wotzensees in den Jahren 2003 bis 2005. Offensichtlich verhalten sich die Werte gegenläufig. So korrespondieren die höchsten Chloridwerte von 32,6 bzw. 36,6 mg/l mit den relativ geringen Wasserständen im Sommer 2004. Dagegen wurden die geringeren Chloridwerte von 22,1 bzw. 20,9 mg/l bei relativ hohen Wasserständen im April 2004 bzw. April 2005 ermittelt. Es lässt sich einschätzen, dass trotz der geringen Anzahl der Messwerte diese als repräsentativ anzusehen sind. Bei Untersuchungen an Wasserwerken mit Salzwasseraufstieg konnten ähnliche Trends beobachtet werden, d. h., dass das durch hohe Wasserstände erzeugte Druckpotenzial dem Salzwasseraufstieg entgegen wirkt. Insofern können Maßnahmen zur Stabilisierung des Wasserhaushaltes, wie sie u. a. GINZEL & KABOTH (1999) für den Naturpark Stechlin vorgeschlagen haben, dem lokalen natürlichen Salzwasseraufstieg entgegenwirken.

Zusammenfassung

Für den Naturpark Stechlin wurden die quartärgeologische Situation und die Grundwasserdynamik des Hauptgrundwasserleiters dargestellt. Bei 15 Seen erfolgten in den Jahren 2003 bis 2005 Untersuchungen der Wasserinhaltsstoffe. Die untersuchten Seewässer wiesen eine große hydrogeochemische Variabilität auf. Mit dem Genesemodell konnten unterschiedliche Speisungsanteile der Seewässer identifiziert werden. So sind der Dollgower See und der Köpernitzsee anthropogen beeinflusst. Der Kölpinsee, Zechowsee, Gr. Tietzensee, Wotzensee, Zeutensee, Törnsee und Dunkelsee weisen Anteile diffus migrierender salinarer Tiefenwässer auf. Maßnahmen zur Stabilisierung des Wasserhaushaltes dienen vor dem Hintergrund prognostischer Klimaänderungen auch zur Begrenzung des natürlichen Salzwasseraufstieges.

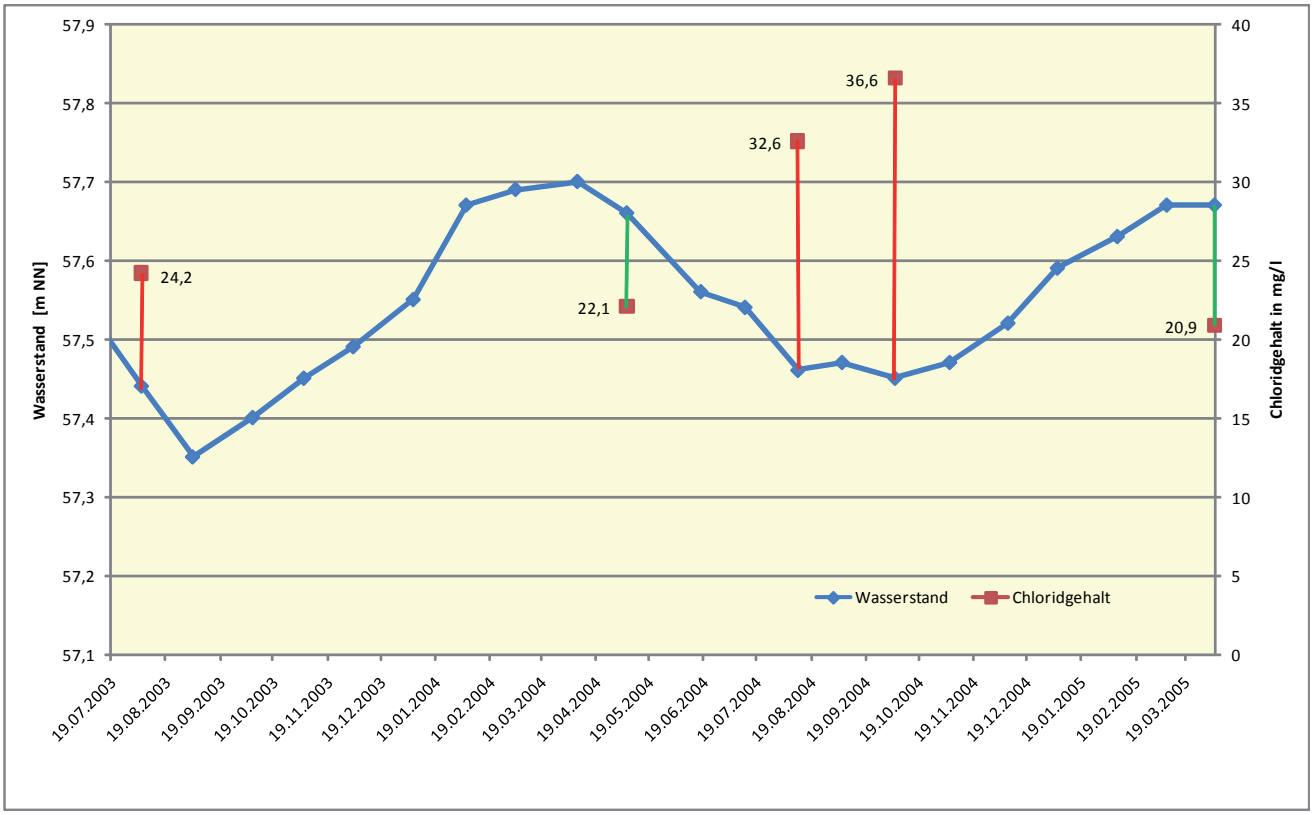


Abb. 10 Korrelation zwischen Wasserstand und Chloridgehalt am Wotzensee

Fig. 10 Correlation of groundwater level and chlorine content of lake Wotzensee

Summary

The quarternary geological situation and the groundwater dynamics of main aquifer is described for the natural park Stechlin. From 2003 to 2005 water content components of 15 lakes are investigated. The lakes showed significant hydrogeochemical variabilities. The genesis model is suitable for identification of proportionate alimentation of lakewaters. Regarding Lake Dollgow and Lake Köpernitz anthropological influences we observed. Proportions of diffuse migrating saliniferous deep waters are found in the following lakes: Kölpin, Zechow, Great Tietzen, Wotzen, Zeuten, Törn and Dunkel. Against the backround of future climatic changes till now realised measures of stabilisation of water balance are limiting the natural ingress of salt water.

Literatur

Ginzel, G. (1999): Hydrogeologische Untersuchungen im Einzugsgebiet des Stechlin und Nehmitzsees. - Berichte des Instituts für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB), H. 8, Berlin

Ginzel, G. & U. Kaboth (1999): Hydrogeologisches Gutachten NSG Stechlin. - Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Berlin (unveröff.)

Ginzel, G. & C. Ertl (2002): Gutachten zur Ermittlung von Möglichkeiten zur Stabilisierung des Wasserhaushaltes im südlichen Stechlinseegebiet. - Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Berlin (unveröff.)

Grube, A., Wichmann, K., Hahn, J. & K. Nachtigall (2000): Geogene Grundwasserversalzung in den Porengrundwasserleitern Norddeutschlands und ihre Bedeutung für die Wassserwirtschaft. - Veröff. aus dem Technologiezentrum Karlsruhe **9**, S. 111-115, Karlsruhe

Lippstreu, L., Hermsdorf, N. & A. Sonntag (1997): Geologische Übersichtskarte des Landes Brandenburg 1 : 300 000. - Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg in Zusammenarbeit mit dem Landesvermessungsamt Brandenburg, Potsdam

Rechlin, B. (1997): Zur Anwendung des Hydrogeochemischen Genesemodells der Wässer in den GWLK des Landes Brandenburg. - Brandenburg. geowiss. Beitr. **4**, 1, S. 67-71, Kleinmachnow

Rechlin, B. (2008): Eine Methode zur konzentrationsunabhängigen Früherkennung von Salzwasserintrusionen in süßwasserführende Grundwasserleiter und Oberflächengewässer. - Brandenburg. geowiss. Beitr. **15**, 1/2, S. 57-68, Kleinmachnow

Richter, D. (1997): Das Langzeitverhalten von Niederschlag und Verdunstung und dessen Auswirkungen auf den Wasserhaushalt des Stechlinseegebietes. - Berichte des deutschen Wetterdienstes **201**, Offenbach

Sonntag, A. (2004): Tiefenlage der Quartärbasisfläche des Landes Brandenburg 1 : 500 000. - Landesamt für Bergbau Geologie und Rohstoffe Brandenburg, Kleinmachnow

Valjaschko, M. G. (1961): Geochemie der Halokinese. - In: Sb. Tr. Geol. Fakut., Izdat. Mosk. Univ., Moskau (russ.)

Anschrift der Autoren:
Dipl.-Geol. Uwe Kaboth
Dipl.-Geol. Berthold Rechlin
Landesamt für Bergbau Geologie und Rohstoffe
Außenstelle Kleinmachnow, Bereich Geologie
Stahnsdorfer Damm 77
14532 Kleinmachnow

Dr. Gerhard Ginzel
Streckfußstraße 18
13125 Berlin

Mitteilung aus dem Landesamt No. 219

Geowissenschaftler Berlin - Brandenburg

Die 19. traditionelle 1. Mai-Exkursion in den Nationalpark Unteres Odertal

Helge Albert

Wie jedes Jahr fand auch diesmal wieder eine Hauptexkursion des Vereins der Geowissenschaftler in Berlin Brandenburg e. V. und der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin statt.

Das Vorbereitungssymposium wurde am 26. April im Alexander-von-Humboldt-Haus in Steglitz durchgeführt. Acht Vorträge spannten den Bogen von der tieferen Geologie über die Geomorphologie und über die Besiedlungsgeschichte bis hin zu aktuellen Problemen im Nationalpark selbst. Mit dieser breit gefächerten Einführung konnte die Exkursion dann nur zu einem Genuss werden.

Der Beginn der Exkursion im Infozentrum des Nationalparks in Criewen war gut gewählt. Hier erhielt man einen räumlichen Überblick, Informationen zur Tier- und Pflanzenwelt des Nationalparks und es wurden auch die Probleme diskutiert. Die Exkursion führte weiter nach Mescherin, einem Aussichtspunkt von einer randlichen Grundmoräne mit Blick auf das polnische Zwischenstromland. In Gryfino - auf der polnischen Seite - wurden Gebiete begangen, die seit 60 Jahren der freien Überflutung überlassen wurden. Auch auf der deutschen Seite gibt es inzwischen Niederungslandschaften, die seit 15 Jahren der freien Entwicklung überlassen sind. Wie in jedem Jahr konnte man auch an konkreten Aufschlüssen, hier im Jungquartär bei Stolpe, die Geologie mit den Händen unmittelbar ertasten. Den Abschluss des Tages bildete der „Grützpott“, eine historische Festungsanlage bei Stolpe, malerisch gelegen am Oderhang. Die Teilnehmer hatten einen wunderschönen Blick über das Odertal und konnten förmlich „die Mammutherde durch das Tal ziehen sehen“.

Ich möchte an dieser Stelle den Organisatoren danken, insbesondere Herrn Prof. Schroeder und Herrn Kaboth. Danken möchte ich auch den Vortragenden im Symposium und bei den Führungen an den jeweiligen Exkursionspunkten, so den Herren Dr. Kopp, Dr. Brose, Dr. Juschus, Herrn Treichel, Frau Migdalska, Frau Nowak und Herrn Schulz. Sie haben sich alle viel Arbeit gemacht, wir konnten es genießen!

Grützpott am 1. Mai 2008 – bestaunt vom Verein der Geowissenschaftler in Berlin - Brandenburg

Foto: A. Bebiolka

Anschrift des Autors:
Dipl.-Ing. Helge Albert
Luckenwalder Str. 76c
15711 Königs Wusterhausen

Brandenburg. geowiss. Beitr.	Kleinmachnow, Cottbus	**15** (2008), 1/2	S. 81-98	11 Abb., 2 Tab., 19 Lit.

Zustandsanalyse von Brunnen, Grundwassermessstellen und Erdwärmesonden mittels innovativer Bohrlochmessverfahren

Status analysis of wells, groundwater observation points and borehole heat exchangers using innovative well-logging methods

Karsten Baumann

1. Einführung

Die Bohrlochgeophysik ist etwa seit der Mitte des vergangenen Jahrhunderts ein untrennbarer Bestandteil der geologischen Erkundung. Ehemals aus Kostengründen, vorrangig zur Ergänzung bzw. Verbesserung der Aussagen bei Spülbohrungen eingesetzt, spart man durch Ihren Einsatz doch teure Kernbohrmeter ein, hat sie sich heute zu einer völlig eigenständigen Erkundungsmethodik entwickelt. Gerade die Erkundung von Massenrohstoffen, wie z. B. der Braunkohle, wäre ohne den Einsatz moderner bohrlochgeophysikalischer Messverfahren nicht denkbar. Im Archiv der Bohrlochmessung-Storkow GmbH lagern inzwischen etwa 150 000 geophysikalisch vermessene Bohrungen aus fast 70 Jahren. Anhand dieser Unterlagen wäre es z. B. möglich, den viel diskutierten Anstieg der Süß-/Salzwassergrenze über die vergangenen 50 Jahre zurückverfolgen und damit wissenschaftlich zu belegen. Neben der Vermessung von Aufschlussbohrungen hat sich in den vergangenen 20 Jahren ein neues Feld des Einsatzes der Bohrlochgeophysik herausgebildet, die Überprüfung von Brunnen, Grundwassermessstellen und neuerdings auch Erdwärmesonden. Eine Vielzahl technischer Regelwerke, insbesondere des DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.), aber auch behördliche Vorschriften, existieren heute in Deutschland zu diesem Thema und unterstreichen somit die Bedeutung, die derartigen Kontrollen beigemessen wird. Die Überprüfung von Messstellen, Brunnen und z. T. auch Erdwärmesonden mittels bohrlochgeophysikalischer Messverfahren hat dabei, nicht zuletzt wegen der hierfür in jüngster Zeit entwickelten Spezialverfahren und spezialisierten Anwendungen von Einzelverfahren und Verfahrenskomplexen, deutlich an Bedeutung gewonnen, wurde doch von verschiedenen Seiten erkannt, dass diese Untersuchungen für einen nachhaltigen Schutz unserer Ressource Grundwasser unverzichtbar sind. Gerade der in der jüngsten Vergangenheit zu verzeichnende starke Zuwachs bei der Errichtung von Erdwärmeanlagen mit Teufen bis 100 m, birgt, bei nicht sachgerechter Ausführung, eine nicht zu unterschätzende Gefahr für unser Grundwasser. Hierbei sei nur an Kurzschlüsse zwischen Grundwasserleitern und damit der Möglichkeit des Eintrags kontaminierter Oberflächenwässer oder der Schaffung von Aufstiegspfaden für Salzwässer, über unzureichend abgedichtete Ringräume von Erdwärmebohrungen, gedacht. Neben der Aufdeckung von Mängeln ergibt sich durch den Einsatz der Bohrlochgeophysik bei der Überprüfung von Brunnen, Grundwassermessstellen und Erdwärmesonden für den Brunnenbauer auch die Möglichkeit, die Güte seiner Arbeit durch eine unabhängige Fachfirma gegenüber seinem Auftraggeber nachzuweisen.

2. Aufschlussbohrungen

Die Vermessung von Aufschlussbohrungen gehört zu den ältesten Aufgaben der Bohrlochgeophysik. Auch heute noch

Abb. 1
Messfahrzeug bei der Vermessung einer Aufschlussbohrung

Fig. 1
Measuring vehicle while investigating an exploration well

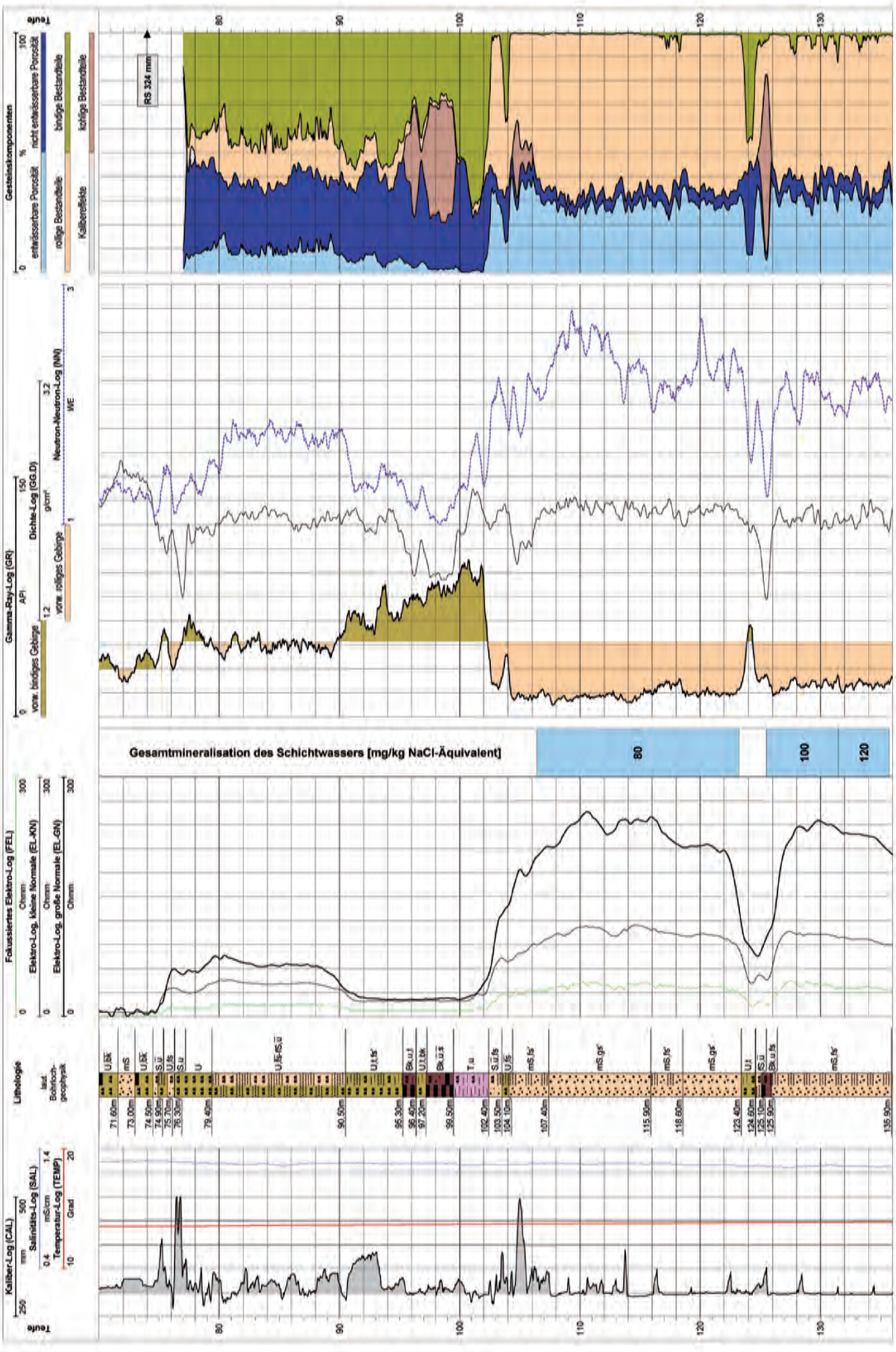


Abb. 2 Messbeispiel einer Aufschlussbohrung

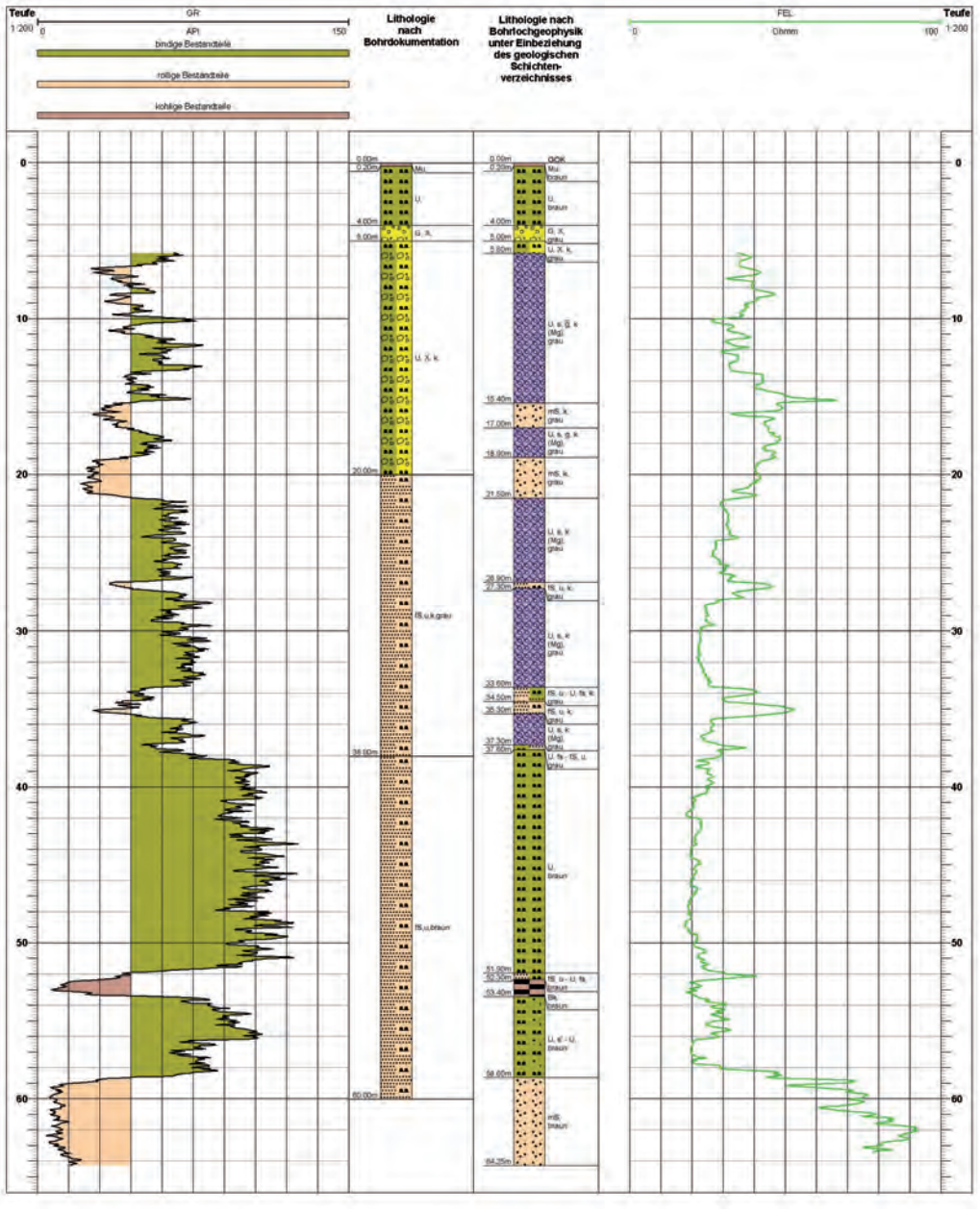
Fig. 2 Measuring example of an exploration well

wird hier die Entwicklung durch den Einsatz der Bohrlochmessung bei der Exploration von Kohlenwasserstoffen zu wesentlichen Teilen bestimmt. Die Geschichte zeigt jedoch, dass Messverfahren, die in Tiefbohrungen zum Standard gehören, sofern es Sinn macht und bezahlbar ist, auch in der Bohrlochgeophysik von Flachbohrungen Anwendung finden. Zu erwähnen sei hier nur die NMR-Messung, mit der man in der Lage ist, die Porositäten und Permeabilitäten in situ, d. h. direkt in der Bohrung zu bestimmen. Ein entsprechendes, vom Land Brandenburg gefördertes Forschungsvorhaben zur Entwicklung einer H-NMR-Bohrlochmesssonde (Nuclear Magnetic Resonance), findet in diesem Jahr seinen Abschluss. Der Bau eines entsprechenden Prototyps dieser Sonde, speziell auf die hydrogeologische Erkundung ausgerichtet, könnte dann nachfolgen.

Seit Jahren findet in der hydrogeologischen Erkundung das so genannte „Hydro-Standard-Programm“ Anwendung. Es umfasst die Messverfahren CAL (Kaliber-Log), GR (Gamma-Ray-Log), ES (Widerstands-Log), GG.D (Gamma-Gamma-Dichte-Log) und NN (Neutron-Neutron-Log). Hiermit ist es möglich, folgende Informationen zuverlässig zu erlangen:

- Geometrie des Bohrlochs (Neigung, Durchmesser),
- lithologische Feingliederung der Schichtenfolge,
- Berechnung der Gesamtmineralisation des Schichtwassers in NaCl-Äquivalent- gehalten (mg/l NaCl-Äquivalent) in allen durchteuften Grundwasserbereichen,
- Berechnung eines Composit-Plots (prozentuale Anteile von Sand/Kies, Ton/Schluff, organischen Bestandteilen und Porosität) und
- quantitative Abschätzung der Durchlässigkeitsbeiwerte, bei Vorliegen von aussagekräftigen Analysendaten.

Voraussetzung für den Einsatz des Hydro-Standard-Programms ist ein unverrohrtes Bohrloch.



Die Abbildung 2 zeigt ein Beispiel, bei dem aus den Messkurven die Lithologie, der Salzgehalt des Grundwassers und auch die einzelnen Komponenten der Gebirgszusammensetzung bestimmt wurden.

In Aufschlussbohrungen für Erdwärmesonden werden aus Kos-

Abb. 3
Messbeispiel einer Erdwärmebohrung

Fig. 3
Measuring example of a geothermal bore

tengründen gegenwärtig nur sehr einfache Messprogramme ausgeführt. Meist beschränkt sich das Messprogramm auf ein GR (Gamma-Ray-Log) und ein FEL (fokussierendes Widerstands-Log). Zusammen mit dem Bohrmeisterschichtenverzeichnis ist es hiermit möglich, die lithologische Abfolge in den Bohrungen mit einer Genauigkeit, die dem Zweck der Bohrung angepasst ist, zu bestimmen.

Auffällig ist, dass die Schichtenansprache anhand der Spülproben (Lithologie nach Bohrdokumentation) in der Regel fast immer zu hohe rollige Anteile ausweist, was u. a. im Bohrprozess begründet liegt, bei dem die bindigen Bestandteile in der Bohrspülung gelöst werden. So wird im Extremfall ein Geschiebemergel, nachdem die bindigen Bestandteile ausgewaschen wurden, als Kies angesprochen. Das gleiche Phänomen kann man aber auch sehr häufig bei Trockenbohrungen feststellen, wo z. B. beim Einsatz der Ventilbüchse die bindigen Bestandteile geringmächtiger oder sandiger Geschiebemergelhorizonte einfach ausgeschlämmt werden und in der Ventilbüchse nur noch der Kies verbleibt. Für den Nutzer der Erdwärmeanlage kann dies jedoch dazu führen, dass die Anlage unwirtschaftlich arbeitet, da bindige Böden eine weit geringere Wärmeentzugsleistung als rollige aufweisen. Im Beispiel unter Abbildung 3 ist dies

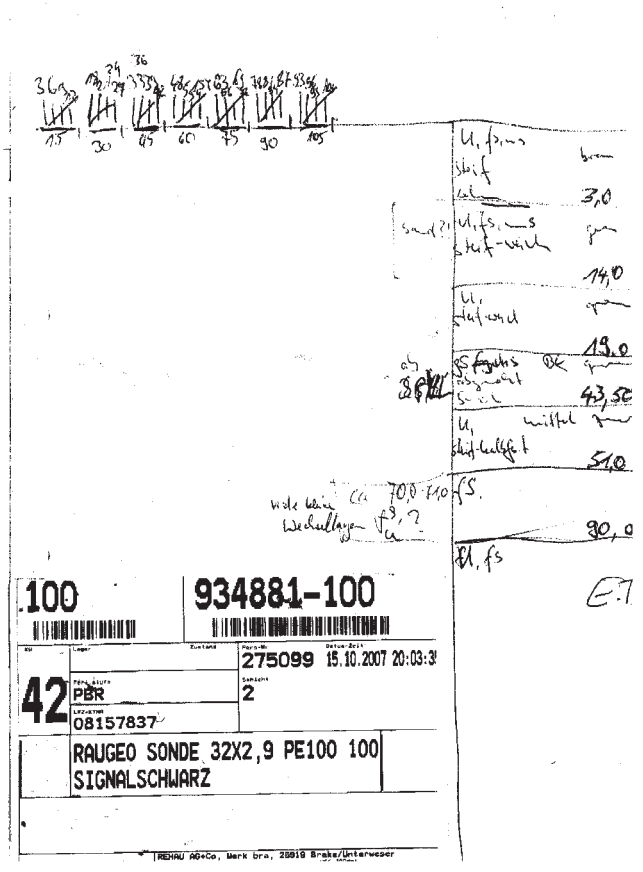


Abb. 4
Beispiel eines Feldschichtenverzeichnisses einer Bohrmannschaft (selbsterklärend)

Fig. 4
Example of an on-site boring-log (self-explanatory)

zumindest zu vermuten. Wenn dann die Feldschichtenverzeichnisse noch so „vorbildlich“, wie in Abbildung 4 dargestellt, geführt werden, bleibt nur noch die Möglichkeit, über die Bohrlochgeophysik ein zuverlässiges geologisches Schichtenverzeichnis zu bestimmen.

3. Überprüfung von Brunnen, Grundwassermessstellen und Erdwärmesonden Vorbemerkungen

Gänzlich unverständlich ist, dass für einen Brunnen nicht selten mehrere hunderttausend Euro investiert wurden, jedoch die notwendigen zwei- bis dreitausend Euro für eine umfassende bohrlochgeophysikalische Bauwerksabnahme eingespart werden. Kaum jemand käme im Vergleich dazu wohl auf die Idee, in sein neu errichtetes Eigenheim einzuziehen, ohne vorher eine umfassende Bauwerksabnahme vornehmen zu lassen.

Bei älteren Brunnenbauwerken oder z. T. auch Messstellen gehört eine regelmäßige Diagnose vor und nach der Regenerierung oder gar eine vollständige Neuaufnahme des Status des Bauwerks, von dem in Einzelfällen nicht einmal die genaue Tiefe bekannt ist, geschweige denn Angaben zum Verrohrungsplan oder gar zur Ringraumabdichtung gemacht werden können, noch lange nicht überall zum Routineprogramm der Brunnen- und Messstellenbetreiber. Leider erinnert man sich oft erst wieder daran, dass das Wasser eigentlich aus dem Brunnen und nicht aus der Leitung kommt, wenn nicht mehr ausreichend Wasser oder nur noch Wasser mit verminderter Qualität gefördert wird. Nicht selten treten diese Umstände dann auf, wenn der Brunnen am meisten beansprucht wird, also in Zeiten höchster Trockenheit und Hitze. Brunnenausfälle, unplanmäßige Instandsetzungen und eigentlich unnötige Kosten sind die unerfreuliche Folge.

Erinnert sei aber auch an den Einsatz der Bohrlochgeophysik in Vorbereitung der Planung des Rückbaus von Brunnen und Grundwassermessstellen. Die hierbei einzuhaltenden Regeln sind in entsprechenden DVGW-Arbeitsblättern festgeschrieben. Viel zu leichtfertig, um nicht zu sagen unverantwortlich, werden jedoch immer noch Brunnen oder Grundwassermessstellen „zugeschüttet“, ohne sich vorher darüber Gedanken zu machen, dass über die fehlende Ringraumabdichtung für alle Ewigkeit eine Verbindung zwischen verschiedenen Grundwasserleitern erhalten bleibt. Oft hört man sogar das Argument, dass der Brunnen ja mit Ton verfüllt wurde, was jedoch völlig nutzlos ist, wenn der Ringraum nicht auch über eine hydraulisch wirksame Abdichtung verfügt. Häufig erkennt man diesen Missstand recht schnell, wenn in dem in unmittelbarer Nachbarschaft gelegenen, nach allen Regeln der Technik neu errichteten Brunnen, Verkeimungen oder hohe Nitratgehalte festgestellt werden, deren Ursprung man sich nicht erklären kann.

Durch eine zunehmende Anwendung des schon seit langem in verschiedenen Bundes- und Landesgesetzen formal festgeschriebenen Anspruchs, dass durch Brunnen, Grundwas-

Abb. 5 Messeinsatz zur Brunnenüberprüfung vor dem Reichstag in Berlin
Fig. 5 Measuring assignment in front of the Reichstag in Berlin

sermessstellen und natürlich auch Erdwärmebohrungen keinerlei schädigender Einfluss auf das Grundwasser erfolgen darf, werden Betreiber von Brunnen jedoch vermehrt auch mit behördlichen Auflagen konfrontiert, die einen Nachweis darüber verlangen, dass die Anlagen dem Stand der Technik entsprechend errichtet oder saniert wurden.

Von neu errichteten Brunnen, Grundwassermessstellen und Erdwärmesonden sollte jedoch von vornherein erwartet werden, dass diese dem Stand der Technik entsprechend hergestellt wurden. Sowohl hinsichtlich der Ringraumabdichtung als auch der Dichtheit der Rohrverbindungen sind festgestellte Defizite hier kaum akzeptabel. Eine „Nullmessung“ erleichtert außerdem die Ursachenforschung bei später auftretenden Problemen mit den Brunnen oder Messstellen erheblich.

Häufige Mängel an Brunnen und Grundwassermessstellen

Zu den häufigsten Mängeln, die an Brunnen, Grundwassermessstellen und in neuster Zeit auch an Erdwärmesonden festgestellt werden, gehören die nachfolgend aufgeführten:

- nicht vorhandene, falsch positionierte, einseitig ausgebildete, unvollständige oder mit Nachfall vermischte Ringraumabdichtungen aus Ton oder Ton-Zement-Suspension, (häufigster und gravierendster Mangel!),
- undichte Rohrverbindungen mit der Folge des Kurzschlusses mehrerer Grundwasserleiter und dem Ergebnis, dass Messstellen nur Mischproben und falsche Grundwasserstände liefern; außerdem ist die Beeinflussung verschiedener Grundwasserleiter/Grundwasserqualitäten gegeben (zweithäufigster Mangel!),
- falsche geologische Schichtenverzeichnisse, z. B. bei Trockenbohrungen und ein daraus resultierender falscher Ausbau / falsche Verfüllung der Messstelle / des Brunnens (dritthäufigster Mangel!),
- Hohlräume / unverfüllte Bereiche, die durch Brückenbildungen bzw. Setzungen hervorgerufen wurden und im Extremfall, insbesondere beim Zusammenbruch, den Totalverlust der Messstelle oder des Brunnens verursachen können und zu Setzungen an der Oberfläche führen (Unfallgefahr!),
- Überschüttungen von Filterstrecken mit Ton oder Eindringen von Ton-Zement-Suspensionen in den Filterbereich und damit „Verstopfung“ der Filterschlitze und Filterkiese,
- zu starkes Sanden,
- mechanische Beschädigung von Rohren,
- hoher NaCl-Gehalt des Rohwassers durch eine nicht erkannte Grundwasserversalzung,
- Verbiegung des Rohrstranges, hervorgerufen durch eine falsche Einbautechnologie und/oder einen plötzlichen Neigungsaufbau der Bohrung und damit verbundene Schwierigkeiten beim Einbau von Pumpen und Messgeräten,
- Verwendung unterschiedlicher Rohrchargen, was zu Absätzen an den Rohrverbindungen führt und Schwierigkeiten beim Einbringen von Pumpen und Messgeräten hervorrufen kann,
- exzentrischer Einbau der Rohre in die Aufschlussbohrung und damit verbundene ungleichmäßige oder einseitig fehlende Ringraumabdichtung, meist hervorgerufen durch das Fehlen oder eine ungenügende Anzahl von Zentralisatoren,
- auf Grund zu großer Neigung der Aufschlussbohrung nur einseitig geschüttete Filterkiese, mit der häufigen Folge des Sandens und/oder einer deutlich schnelleren Alterung des Brunnens oder der Messstelle,
- Undichtigkeiten am Verpressstück, bei einer Abdichtung des Ringraums mit Ton-Zement-Suspension aus dem Ausbau heraus, mit den gleichen Folgen wie bei undichten Rohrverbindungen,
- nicht richtig auf die lithologischen Verhältnisse abgestimmte Filterschlitze und Filterkiese, mit der Folge einer geringen Durchlässigkeit von Ringraum und Filterschlitzen oder des Sandens des Brunnens oder der Messstelle,

- falsche Positionierung von Filterstrecken, hervorgerufen durch Messfehler und/oder Unaufmerksamkeit beim Rohreinbau.

Bei den Mängeln muss unterschieden werden, ob diese die Messstelle, den Brunnen oder die Erdwärmesonde für deren geplanten Zweck unbrauchbar machen oder gar eine Beeinflussung des Grundwassers durch das mangelhaft errichtete Bauwerk möglich ist, oder ob es Mängel sind, die die Gebrauchsfähigkeit nur einschränken. Kurzschlüsse zwischen verschiedenen Grundwasserleitern über den Ringraum oder defekte Rohrverbindungen sind in jedem Fall unzulässig.

Neubauabnahme von Brunnen, Grundwassermessstellen und Erdwärmesonden

Bei der Überprüfung von Brunnen und Messstellen muss zwischen einem Mindestprogramm zum Nachweis der Unbedenklichkeit für die Umwelt (in vielen Bundesländern bereits durch *behördliche Auflagen* geregelt!) und den Anforderungen, die der Bauherr / Nutzer an ein ordnungsgemäßes Bauwerk (Messstelle, Brunnen oder Erdwärmesonde) hinsichtlich der Gewährleistung und der Nutzungseigenschaften stellt, unterschieden werden. Zu den behördlichen Mindestanforderungen gehören danach bohrlochgeophysikalische Messverfahren, die folgende Überprüfungen zulassen:

- Vorhandensein und/oder Lage von Tonsperren/Ton-Zement-Suspensionen (vertikale Ringraumabdichtung) sowie deren Korrespondenz mit dem geologischen Schichtenprofil,
- hydraulische Wirksamkeit von Ringraumabdichtungen, insbesondere wenn Hinweise auf Inhomogenitäten der Ringraumabdichtung vorliegen,
- Überprüfung auf Brückenbildung (Brücken im Ringraum sind Havariegefahren!),
- Dichtheit der Aufsatzrohre, insbesondere der Rohrverbindungen
- Lage der Filterstrecke.

Insbesondere im Hinblick auf einen langfristigen störungsfreien Betrieb der Messstelle oder des Brunnens (*zusätzliche Anforderungen des Betreibers*) sind Untersuchungen und Messverfahren empfehlenswert, die folgende Überprüfungen ermöglichen:

- Vorhandensein und Zustand der Kiesschüttung (Kolmationen, Verdichtungen, Feinkornanteil),
- Zufluss im Filterbereich bzw. Erstellung einer Zuflussprofilierung der Filterstrecke,
- Durchlässigkeit des filternahen Bereiches / der Ringraumschüttung,
- Vertikalität und Exzentrizität der eingebrachten Verrohrung,
- ggf. Präzisierung des erbohrten geologischen Profils (Auch im zur Messstelle oder Brunnen ausgebauten Bohrloch möglich!),
- Rohrbeschädigungen (Haarrisse) und Rohrovalitäten.

Von Fall zu Fall können auch folgende Untersuchungen erforderlich sein:

- Überprüfung des Wasserchemismus (absolute Salinität, vertikale Schichtung, Mischwässer aus verschiedenen Horizonten),
- Abschätzung der Schichtwassermineralisation im Porenraum der einzelnen geologischen Abfolgen, („hinter den Rohren“, zur Verfolgung der Süß-/ Salzwassergrenze).

Bei Erdwärmesonden beschränkt sich die Überprüfung auf das Vorhandensein einer hydraulisch wirksamen Ringraumabdichtung. Gegenwärtig ist deren Nachweis jedoch nur möglich, wenn in die Erdwärmesonde zentrisch ein zusätzliches PVC-Rohr vom Mindestdurchmesser 40 mm eingebracht wird. Dieses Rohr, am Fuß versehen mit einem Rückschlagventil, kann zum Verpressen der Erdwärmebohrung mit Ton-Zement-Suspension genutzt werden. Im Anschluss an die Verpressung wird Wasser in das Rohr eingepresst, was die restliche Suspension aus dem Rohr drängt. Das Rohr kann nun mit üblichen Bohrlochmesssonden befahren werden, um die Abdichtung des Ringraums zu überprüfen. Noch in diesem Jahr ist jedoch damit zu rechnen, dass Sonden auf dem Markt verfügbar sind, die auch in den kleinkalibrigen „Röhrchen“ der Erdwärmesonden eingesetzt werden können. Dann wäre der Einbau eines zusätzlichen Rohres nicht mehr erforderlich.

Die in der Abbildung 6 dargestellte Gamma-Ray-Sonde hat einen Durchmesser von 25 mm und eine Baulänge von

Abb. 6 Prototyp einer miniaturisierten Sonde für die Vermessung von Erdwärmesonden

Fig. 6 Prototype of a miniaturized sensor for measurement in borehole heat exchangers

30 cm. Diese Sonde wird voraussichtlich noch in diesem Jahr in die Erprobung gehen.

Überprüfung Altbrunnen und Altmessstellen

Generell können diese Untersuchungen auch am „Altbestand“ von Messstellen und Brunnen vorgenommen werden, um so deren Eignung zu überprüfen. Dies empfiehlt sich insbesondere immer dann, wenn Zweifel an der Richtigkeit von Analysen und / oder Wasserständen bei Grundwassermessstellen bestehen, wenn die Leistung des Brunnens nachlässt, die Qualität des Förderwassers mangelhaft ist, eine Prognose über die noch mögliche Nutzungsdauer

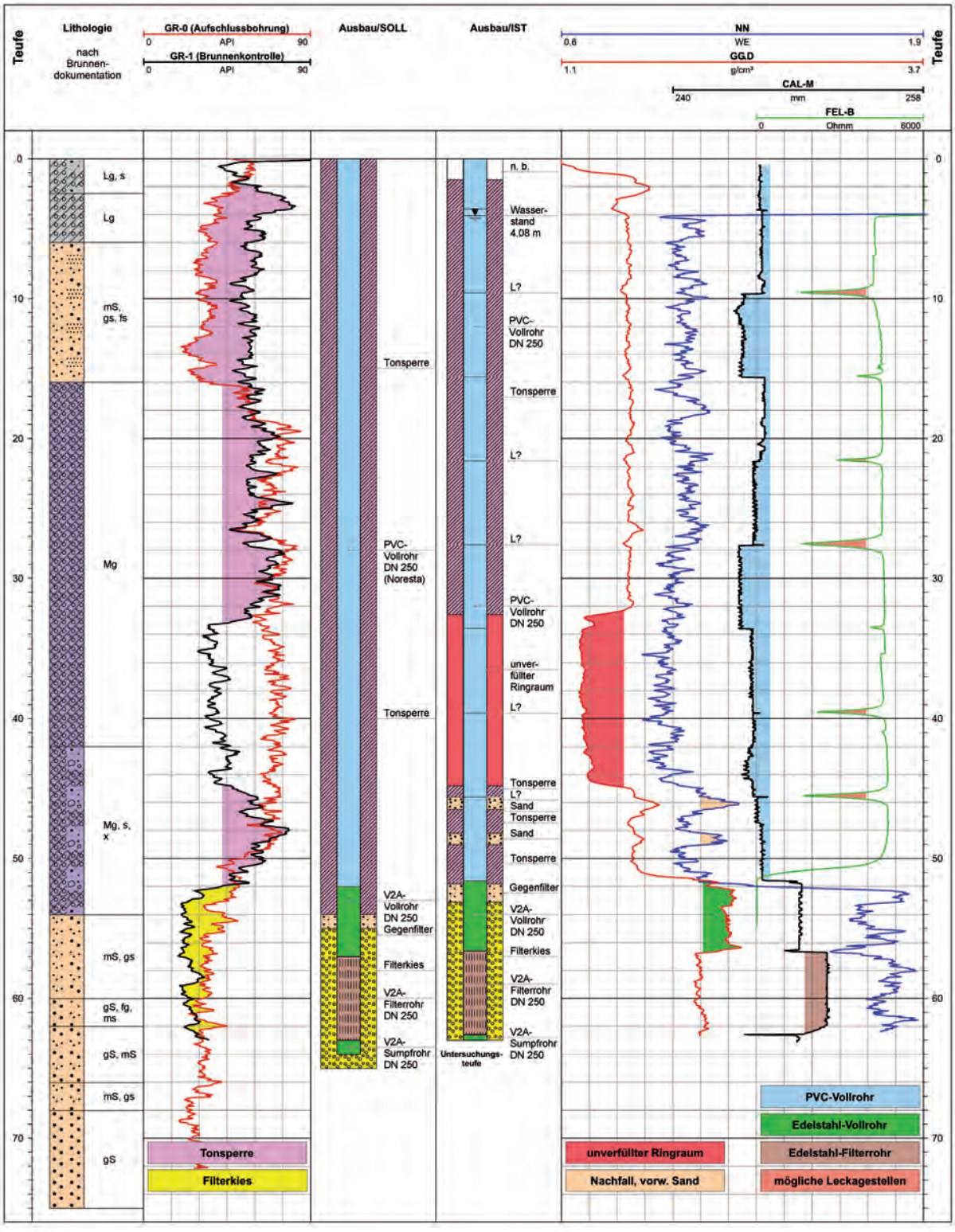


Abb.7 Brunnenkontrolle mit festgestellter fehlerhafter Verfüllung und potentiell undichten Rohrverbindungen

Fig. 7 Well inspection identifying faulty annular space filling and potentially leaky pipe connections

von Brunnen erstellt werden soll oder wenn die Messstelle oder der Brunnen zurück gebaut werden soll. Beim geplanten Rückbau ist insbesondere der Nachweis einer ordnungsgemäßen Ringraumabdichtung und -verfüllung erforderlich (vergl. DVGW-Arbeitsblatt W 135 (1996)).

- Vorangestellt sollte bei Altbrunnen eine Ermittlung des Allgemeinzustandes werden (Fernsehsondierung).
- Es muss ein verlässliches geologisches Schichtenverzeichnis vorhanden sein oder nachträglich über die Bohrlochgeophysik erstellt werden.
- Ein entsprechender verlässlicher Ausbauplan (Lage der Filter, Ausbaudurchmesser, Art der Ringraumverfüllung) sollte vorliegen oder nachträglich erstellt werden.
- Bei tieferen Brunnen, die einen bedeckten Grundwasserleiter erfassen, ist der Nachweis der Ringraumabdichtung zu erbringen. Fehlen die Ringraumabdichtungen, so sind diese nachträglich herzustellen. Dies gilt insbesondere auch, wenn der Brunnen verwahrt werden soll.
- Es ist weiterhin nachzuweisen, dass die Rohrverbindungen dicht sind. Eine nachträgliche Abdichtung, z. B. durch das Einbringen einer Einschubverrohrung oder einer Innenrohrmanschette, kann hier gegebenenfalls Abhilfe schaffen.
- Nachweis einer ordnungsgemäßen Ringraumverfüllung (Keine Brückenbildung!) durch entsprechende Messungen sowie gegebenenfalls nachträgliche Ringraumverfüllung durch Verpressung, Verdichtung („Kiespumpe“) oder andere Maßnahmen.
- Erstellung eines Zuflussprofils und Bestimmung der Durchlässigkeit des filternahen Bereiches (Flowmeter oder Tracer-Fluid-Logging und Packerflowmeter).
- Bei älteren Stahlbrunnen oder -messstellen sollte die Restwandstärke der Aufsatzrohre / Grad der Durchrostung / größere Leckstellen untersucht werden (Vorbeugende Maßnahme zur Vermeidung von Havarien, z. B. durch Einbruch des Gebirges in den Brunnen bzw. Entscheidung darüber, „ob es noch lohnt“, den Brunnen oder die Messstelle zu regenerieren bzw. ob eine Regenerierung ohne Gefährdung des Brunnens überhaupt durchgeführt werden kann!).
- Der Zustand der Kiesschüttung (Verdichtung, Kolmation, Feinkornanteil) sollte bei geringer Ergiebigkeit und/oder ungleichmäßigen Zuflüssen immer mit ermittelt werden.

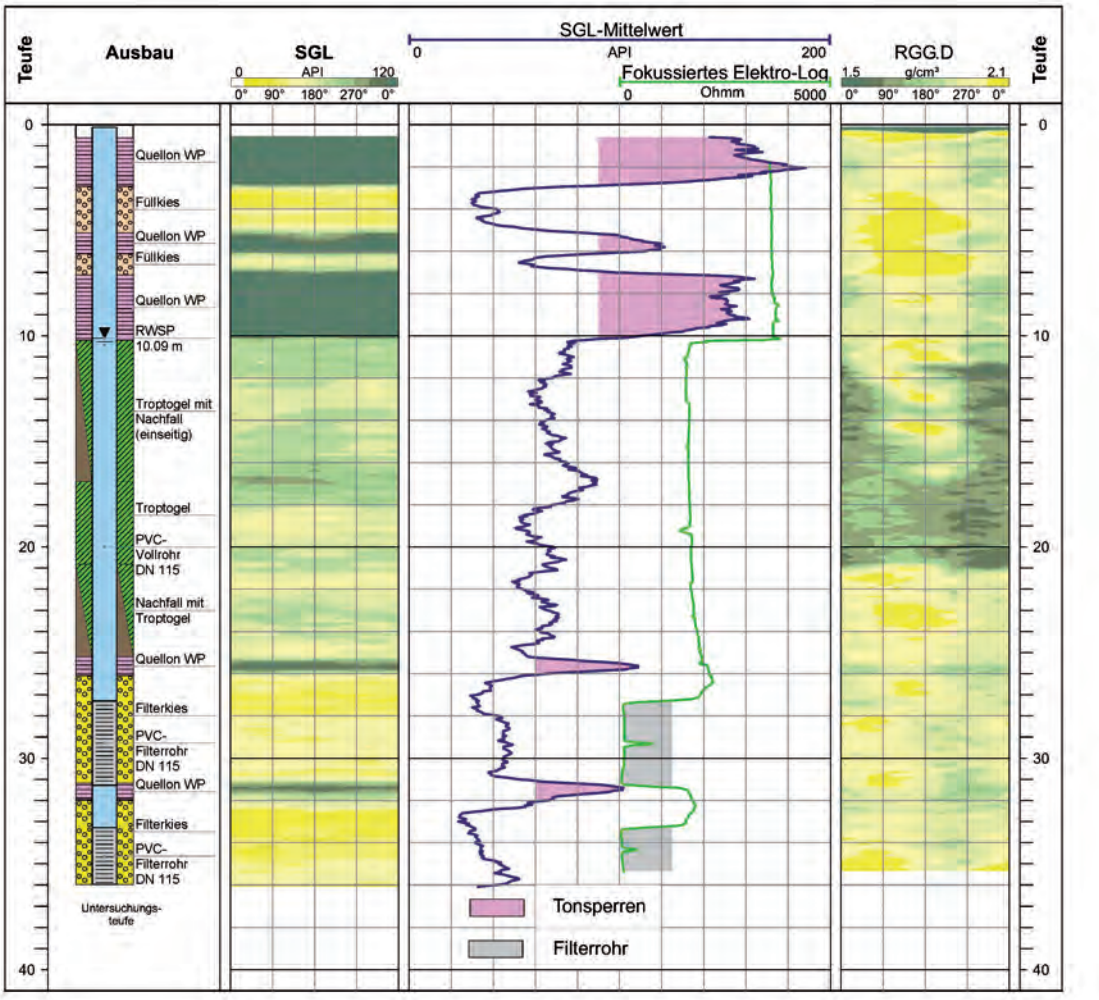


Abb. 8 Beispiel der Kontrolle der Ringraumabdichtung mittels dreidimensional messender Verfahren
Fig. 8 Example for the control of annular seals using innovative three-dimensional logging-methods

Messbeispiele

An einigen Messbeispielen soll der Einsatz der Bohrlochgeophysik erläutert werden.

Bei der in der Abbildung 7 (s. o.) dargestellten „Brunnenkontrolle“ lässt sich aus der Dichtemesskurve (GG.D – rechte Spalte, ganz links) in der Teufe von 33 bis 45 m ein deutliches Minimum erkennen. Hier ist es beim Schütten der Ringraumverfüllung zu einer Brückenbildung bei etwa 33 m gekommen, was zur Folge hatte, dass die nachfolgenden 12 m unverfüllt blieben. Deutlich lassen sich aus der FEL-Messung (rechte Spalte, ganz rechts) die Minima erkennen. Diese „Spitzen“ sind Indikationen für mögliche undichte Rohrverbindungen. Hier muss ein Packertest zur endgültigen Klärung der hydraulischen Wirksamkeit dieser Rohrverbindungen durchgeführt werden.

Bei der Brunnenüberprüfung, die in der Abbildung 8 zur Darstellung gebracht wurde, kamen die Verfahren „Ringraumscanner“ (RGG.D®) und „Segmentiertes-Gamma-Log“ (SGL®) zum Einsatz. Die Messergebnisse wurden von 0° bis 360° in die Ebene projiziert. Die Farbskala (bei s/w-Abbildungen Grauabstufung) zeigt beim RGG.D® die Dichte in g/cm3 und beim SGL® die Gammaaktivität in API jeweils über den gesamten Ringraum an. Hierdurch ist es möglich die Ringraumabdichtung räumlich orientiert zu überprüfen. Insbesondere bei der Verwendung von Ton-Zement-Suspensionen lassen sich häufig einseitige „Fehlstellen“ in der Ringraumabdichtung feststellen. Aber auch bei herkömmlich geschütteten Tonsperren kommt es immer wieder zu unsymmetrischen Fehlstellen, z. T. hervorgerufen durch Nachfall oder nicht zentrisch eingebaute Rohre. Im oberen Beispiel lässt sich eine leichte Exzentrizität des Rohreinbaus in der Aufschlussbohrung mittels des Ringraumscanners feststellen. Die Tonsperren sind jedoch ausreichend homogen geschüttet worden, was sowohl mittels der SGL®-Messung als auch durch den Ringraumscanner ausgewiesen wird. Damit kann ihre hydraulische Wirksamkeit als bewiesen gelten.

In der Abbildung 9 wurde die Wanddicke der Stahlrohre (EMDS – linke Messkurve) mit Hilfe eines elektromagnetischen Verfahrens ermittelt. Dieses Verfahren erlaubt Rückschlüsse auf die Qualität von Stahlrohren, insbesondere den Grad der Durchrostung. Meist werden Rohrkorrosionen bei Kamerabefahrungen viel zu spät erkannt, da die Korrosion der Rohre fast immer von außen nach innen erfolgt, somit sichtbare Korrosionen im Rohr fast immer auf eine bereits erfolgte Durchrostung der Rohre hindeuten. Gerade aber beim Einsatz mechanischer Regenerierverfahren werden die Rohre stark belastet, was bei durch Korrosion vorgeschädigten Rohren schon oftmals zum Verlust des Brunnens, in einigen Fällen auch der kompletten Regenerierungsausrüstung, geführt hat. Im oberen Beispiel lässt sich eine massiver Korrosion der Rohre in einer Teufe von 11 bis 14 m erkennen.

Als neues, aber sehr effektives Untersuchungsverfahren hat sich in den letzten Jahren der „Gasdynamische Test“ (Abb. 10) erwiesen. Dieser Test wird in der Regel dann angewendet, wenn aufgrund der vorangegangenen Messungen Zweifel an der hydraulischen Wirksamkeit von Ringraumabdichtungen bestehen. Dabei wird Stickstoff über den Filter (Packer wird an der Filteroberkante abgesetzt; unterhalb des Packers wird Stickstoff verpresst) in den Ringraum gepresst. Der aufsteigende Stickstoff sammelt sich bei einer „intakten“ Ringraumabdichtung unterhalb dieser. Durch Wiederholungsmessungen mit dem Neutron-Neutron-Log (NN) wird der Abbau der Stickstoffblase verfolgt. Um ausschließen zu können, dass der Stickstoff zur Seite abdriftet, können zusätzlich noch Messungen mit dem Ringraumscanner durchgeführt werden. Der aufsteigende Stickstoff verändert hinter den Rohren, durch Verdrängung von Wasser, die Dichte. So bilden sich die Aufstiegsbahnen des

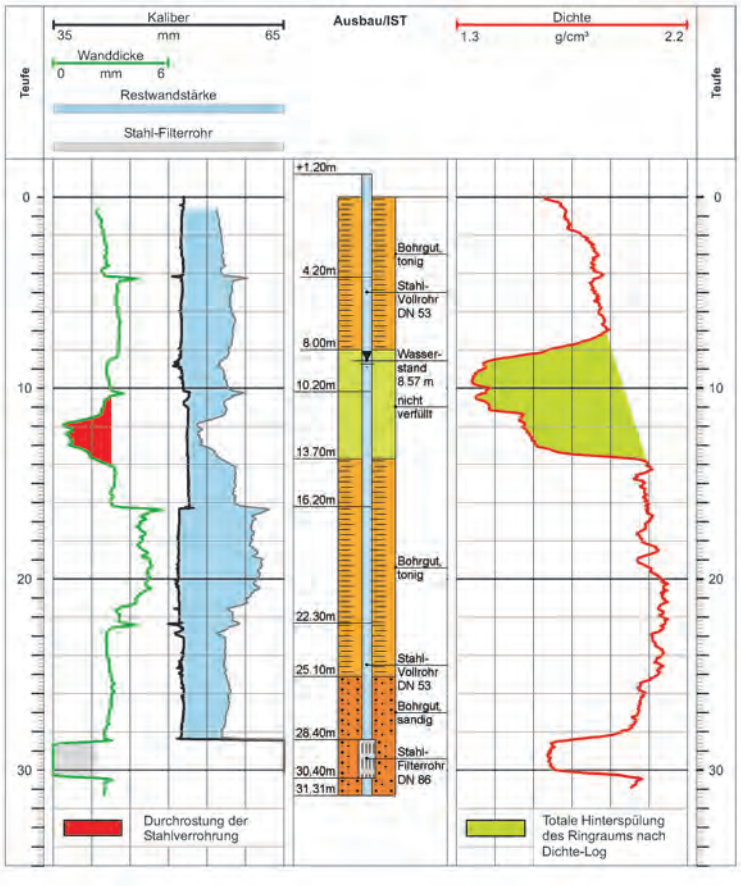


Abb. 9
Beispiel einer elektromagnetischen Wanddickenmessung (EMDS) der Brunnenrohre
Fig. 9
Example of an electromagnetic wall thickness measurement (EMDS) for well-casings

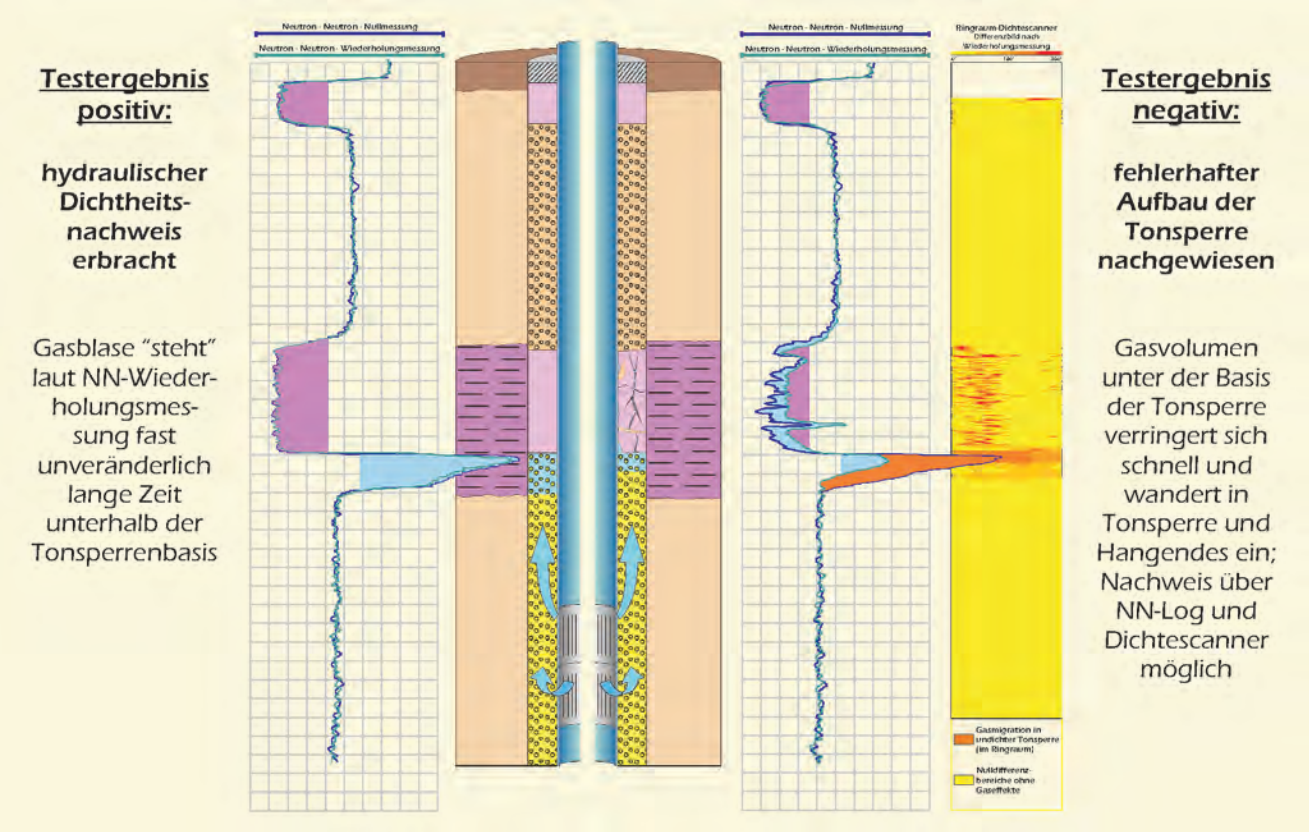


Abb. 10 *Prinzipskizze des Gasdynamischen Tests (GDT®)*
Fig. 10 *Principle sketch of the gas dynamical test (GDT ®)*

Stickstoffs auch innerhalb der Ringraumabdichtungen in Form von Dichtereduzierungen ab. Mit diesem Verfahren ist der Direktnachweis der Wirksamkeit von Ringraumabdichtungen möglich.

Die in Abbildung 11 dargestellten Wiederholungsmessungen mit dem Induktions-Log belegen den Anstieg der Süß-Salzwassergrenze im Gebirge. Voraussetzung für derartige Messungen ist das Vorhandensein einer Messstelle mit Kunststoffausbau. Ein einfaches Kunststoffrohr, auch ohne Filter, würde hierfür ebenfalls genügen. Mit dem Induktions-Log wird die Leitfähigkeit im Gebirge in bis zu einem Meter Entfernung um die Messstelle ermittelt. Erhöht sich die Leitfähigkeit, so ist dies ein Anzeichen für eine Zunahme des Salzgehaltes im Grundwasser. Aus langjährigen Messungen konnte auch festgestellt werden, dass die Grundwasserschichtung in der Messstelle meist erheblich von der im Gebirge abweicht, also Leitfähigkeitsmessungen (SAL/TEMP) im Messstellenrohr nur selten repräsentative Ergebnisse über den tatsächlichen Anstieg des Salzwassers im Gebirge liefern. Die Bestimmung der Süß-Salzwassergrenze über die Entnahme von Proben ist ebenfalls wenig zielführend, da dies nur gelänge, wenn die Messstelle über eine extrem kurze Filterstrecke verfügen würde und die Probe genau zu dem Zeitpunkt entnommen würde, wenn die Grenze exakt im Bereich des kurzen Filters liegt.

4. Einsatzfälle für Bohrlochgeophysik und Fernsehsondierung bei der Überprüfung von Brunnen, Grundwassermessstellen und Erdwärmesonden

Die überwiegend komplexen Fragestellungen bei der Überprüfung von Brunnen und Grundwasserstellen bedingen es, dass für deren Beantwortung in der Mehrzahl der Fälle Kombinationen verschiedener Messverfahren (Messprogramme) eingesetzt werden, die speziell auf die Aufgabenstellung zugeschnitten sind. So wird die Auswahl der Messverfahren im Wesentlichen durch folgende Faktoren bestimmt:

- Fragestellung/Aufgabenstellung,
- Anforderungen an die Genauigkeit/Zuverlässigkeit/"Gerichtsfestigkeit" der Ergebnisse,
- ökonomische Aspekte und betriebliche Belange des Nutzers der Messstelle/des Brunnens,
- Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der Ausbaudokumentation und des geologischen Schichtenverzeichnisses (Mitwirkungspflicht des Auftraggebers!),
- Anforderungen/Auflagen zum Schutz des Grundwassers,
- Typ und Art des Ausbaumaterials (elektrisch leitend/elektrisch nicht leitend),
- Typ und Art des verwendeten Materials zur Herstellung von Abdichtungen (magnetische Tone, gammaaktive

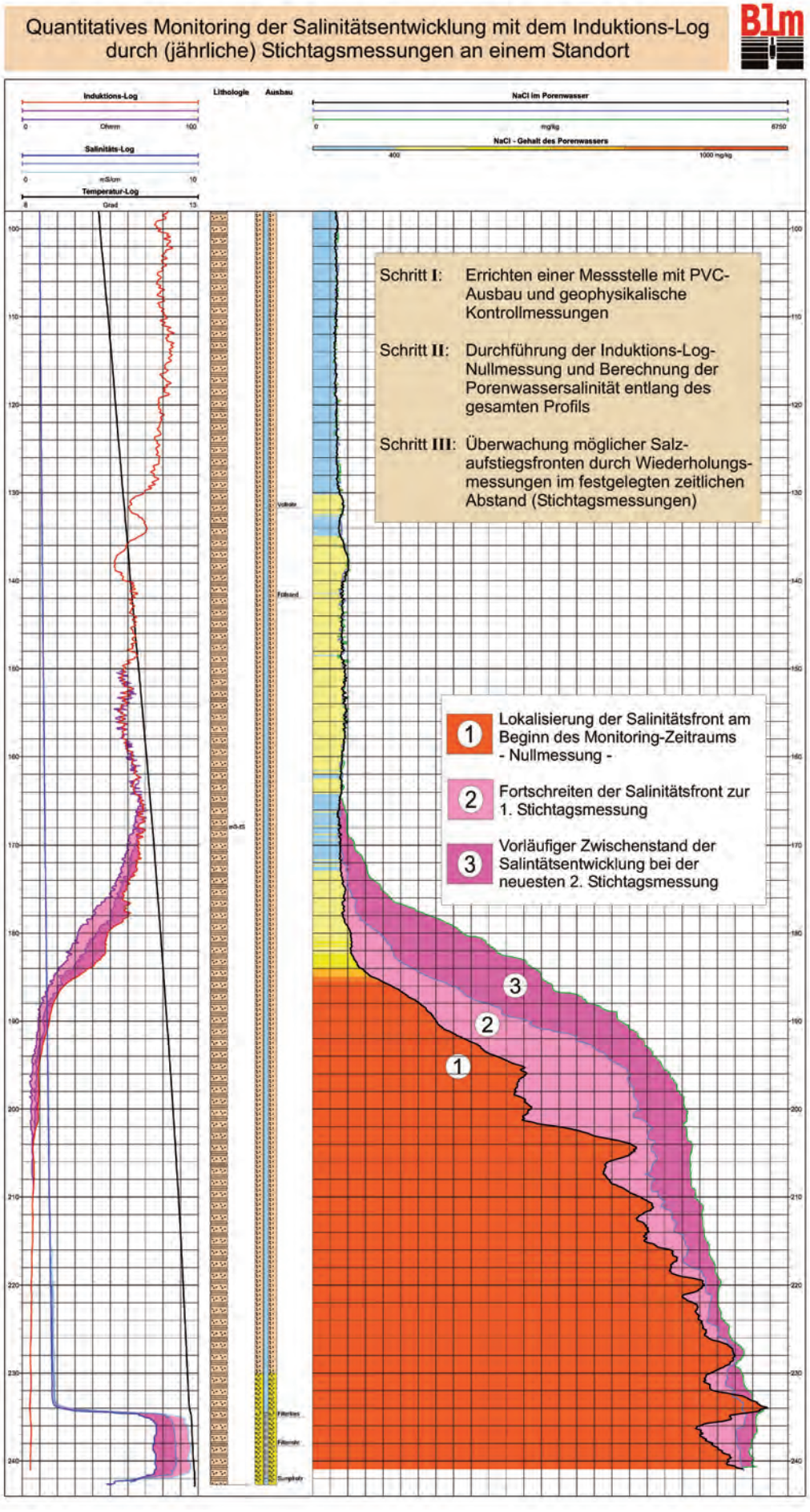


Abb. 11
Süß-/Salzwassermonitoring mittels Bohrlochgeophysik

Fig. 11
Fresh-/salt-water monitoring using borehole geophysics

Tone, nicht markierte Tone, Ton-Zement-Suspensionen) und Technologie der Herstellung der Abdichtung (Schüttung, flüssige Verfüllung mit Suspensionen),

- eingesetztes Bohrverfahren beim Abteufen der Aufschlussbohrung,
- Einsatzbedingungen und -grenzen der einzelnen Messverfahren.

Tab. 1 Häufig verwendete Materialen zur Ringraumabdichtung

Tab. 1 Frequently used materials for annular seals

nachweisfähige Eigenschaft(en)	Bevorzugtes geophysikal. Nachweis-verfahren	Bemerkung	Produktbeispiele (Kein vollständiger Handelsname!)	Konsis-tenz
ferromagnetisch, Dichte	MAL	sehr häufig eingesetzt, ungeeignet bei Stahlrohren	Quellon HD, Wetronit M, Mikolit 300	Kugeln/ Pellets
Dichte, Schallhärte	GG.D, CBL.WB		Zement	Suspen-sion
natürliche Gammastrahlung	GR bzw. SGL®		Quellon WP Troptogel C	Kugeln/ Pellets Suspen-sion
Dichte, Wasserstoffgehalt	RGG.D® bzw. GG.D	oft auch schwach magnetisch	Compactonit	Kugeln/ Pellets
Wasserstoffgehalt	NN bzw. DNN		Wetronit, Mikolit, Friedländer Blauton	Kugeln/ Pellets
Wasserstoffgehalt	NN bzw. DNN (GG.D, RGG.D®)		alle anderen nicht markierten Tone	Kugeln/ Pellets
Dichte, Wasserstoffgehalt	NN, GG.D, RGG.D®		Brutoplast, Troptogel, Dämmer	Suspen-sion
Natürliche Gammastrahlung	SGL® (GR)	Wird überwiegend bei nachträglichen Abdichtungen der Ringräume eingesetzt.	Brutoplast, Troptogel oder Dämmer mit Zirkonsand versetzt	Suspen-sion

(Kein Anspruch auf Vollständigkeit! Keine Vollständigkeit des Handelsnamens!)

Messverfahren:

CBL.WB-	Zement-Bond-Log mit Wellenbildregistrierung
DNN-	Dual-Neutron-Neutron Log
MAL-	Suszeptibilitäts-Log
NN-	Neutron-Neutron-Log
GR-	Gamma-Ray-Log
GG.D-	Gamma-Gamma-Dichte-Log
SGL®-	Segmentierte Gamma-Ray-Log
RGG.D®-	Dichte-Ringraumscanner-Log

Tab. 2 Einsatz bohrlochgeophysikalischer Verfahren (in Anlehnung an DVGW-Arbeitsblatt W 110 (2005))

Tab. 2 Use of well-logging procedures (according to DVGW-Arbeitsblatt W 110 (2005))

1)
++: Messung wird für die jeweilige Aufgabe empfohlen
+: das in den Bemerkungen angegebene Messverfahren ist für die jeweilige Aufgabe aussagefähiger
(+): Messung unter den in den Bemerkungen beschriebenen Bedingungen empfohlen
-: Messung technisch nicht möglich oder nicht sinnvoll

Aufgabe	Verfahren (Abkürzung)	Verrohrung[1)]				*Bemerkungen/* **Anwendungsbedingungen**
		Kunststoff		Stahl		
		< DN 100	> DN 100	< DN 100	> DN 100	
Befahrbarkeit der Rohre	Kaliber-Log (CAL)	++	++	++	++	zur Vermeidung von Havarien mit technischen Geräten zwingend erforderlich
	Kamerabefahrung (OPT)	(+)	(+)	(+)	(+)	Identifikation von Fremdkörpern, Ursachenforschung bei Befahrungsschwierigkeiten, Überprüfung der Lage der Filter bei Stahlrohren (sonst FEL), Prüfung von größeren Rohrbeschädigungen, häufig aber wegen Wassertrübe nicht einsetzbar
Teufenlage und räumliche Homogenität von Ringraumabdichtungen	Gamma-Ray-Log (GR)	++	+	++	+	Tonsperrennachweis nur bei Verwendung gammaaktiv markierter Tone möglich, als Korrekturgröße für GG.D und RGG.D® immer erforderlich, ab DN 50 besser SGL® einsetzen,
	Segmentiertes Gamma-Ray-Log (SGL®)	++	++	++	++	Messung der Gamma-Strahlung in mehreren getrennten Segmenten über den gesamten Umfang des Ringraums, dadurch Nachweis der horizontalen Verteilung von Tonen im Ringraum
	Gamma-Gamma-Dichte-Log (GG.D)	++	+	++	+	deutlicher Dichtekontrast zum übrigen Verfüllmaterial notwendig, ab DN 100 (besonders bei Ton-Zement-Suspension) besser RGG.D®,
	Neutron-Neutron-Log (NN)	(+)	(+)	(+)	(+)	einziges (universelles) Nachweisverfahren für nicht speziell markierte Tone, die in älteren Messstellen und Brunnen ausschließlich eingesetzt wurden
	Dichte-Ringraum-scanner-Log (RGG.D®)	-	++	-	++	Nachweis einer homogenen Verteilung des Abdichtmaterials über den gesamten Umfang des Ringraums (horizontale Ausbildung von Ringraumabdichtungen)
	Magnetik-Log (MAL)	(+)	(+)	-	-	ausschließlich für den Nachweis ferromagnetisch markierter Tone
Überprüfung /Erstellung des geologischen Schichtenverzeich-nisses	Induktions-Log (IL)	++	++	-	-	tief eindringendes Verfahren, somit Informationen über den Ringraum hinaus, auch über dem Grundwasserspiegel einsetzbar
	Gamma-Ray-Log (GR)	++	++	++	++	eindeutige Unterscheidung zwischen Gamma-Strahlung aus dem Gebirge und aus dem Ringraum nur eingeschränkt möglich, da kumulativ registrierend
	Gamma-Gamma-Dichte-Log (GG.D)	++	++	++	++	Sonden mit möglichst zwei Eindringtiefen (Spacing´s) verwenden, um so den Einfluss des Ringraums zu ermitteln; bei großen Ringräumen nur eingeschränkt Informationen zum Gebirge gewinnbar,
	Neutron-Neutron-Log (NN)	(+)	(+)	(+)	(+)	nur bei sehr engen Ringräumen für Lithologie einsetzbar, Sonden mit möglichst zwei Eindringtiefen (Spacing´s) verwenden
Dichtheit der Muffenver-bindungen und Lage der Filter-strecke	fokussierte Elektro-Log (FEL)	++	++	-	-	gutes Screeningverfahren, aber kein eindeutiger Nachweis der hydraulischen Wirksamkeit von Muffenverbindungen, hierzu immer Packertest erforderlich; bei Stahlrohren nur mit EMDS oder OPT exakte Bestimmung der Filterlage möglich,
	Packertest	(+)	(+)	++	++	Nachweis der hydraulischen Wirksamkeit von potentiell undichten Muffenverbindungen/Leckstellen, (im Anschluss an FEL, wenn der Verdacht auf Undichtigkeiten besteht), wichtig für die Dichtheitsprüfung von Stahlrohren
	Kaliber-Log(CAL)	-	-	(+)	(+)	bei geringen Rohrbelägen Bestimmung der Lage der Filter möglich
Nachweis einer ordnungsgemäßen Verfüllung des gesamten Ringraums (Brückenbildung)	Gamma-Gamma-Dichte-Log (GG.D)	++	+	++	+	Nachweis der Ringraumverfüllung kann nur einseitig oder als Durchschnitt über den gesamten Ringraum erbracht werden, alternativ ab DN 100 RGG.D®
	Dichte-Ringraumscanner-Log (RGG.D®)	-	++	-	++	Nachweis einer homogenen Verfüllung über den gesamten Umfang des Ringraums (horizontale Ausbildung von Verfüllungen), Einsatz ab DN 100
Wanddicke/ Durchrostung	elektromagnetische Wanddicken-Log (EMDS)	-	-	++	++	Überprüfung der Restwandstärke (Grad der Durchrostung), nur bei alten Messstellen und Brunnen mit Stahlausbau von Interesse
Richtung und Neigung des Ausbaus	Bohrlochverlaufs-Log (BA)	++	++	(+)	(+)	wichtig wenn Messstelle oder Brunnen überbohrt werden soll, im Stahlausbau nur Neigung, nicht Richtung bzw. nur mit Gyroskop bestimmbar
Zuflussermittlung	Flowmeter-Log (FLOW)	++	++	++	++	Überprüfung des Zuflusses im Filterbereich bzw. Erstellung einer Zuflussprofilierung der Filterstrecke in Ruhe und bei Förderung
Durchlässigkeits-prüfung	Packer-Flowmeter-Log (FWPACK)	++	++	++	++	Durchlässigkeit von Filterrohr und Kiesschüttung im filternahen Bereich
Wasserchemismus	Salinitäts / Temperatur -Log (SAL/TEMP)	(+)	(+)	(+)	(+)	Überprüfung des Wasserchemismus (absolute Salinität, vertikale Schichtung)
Verfolgung der Süß-/ Salzwassergrenze	Induktions-Log (IL)	++	++	-	-	Abschätzung des Wasserchemismus im Porenraum der einzelnen geologischen Abfolgen ("hinter den Rohren"), insbesondere interessant im Vollrohrbereich (Bestimmung der vertikalen Veränderlichkeit der Süß-Salzwassergrenze)
Überprüfung Brunnensumpf	Fernsehsondierung (OPT)	+	+	+	+	optische Überprüfung des Sumpfes auf Auflandungen, bei großer Wassertrübung nicht anwendbar, hier besser SAL/TEMP einsetzen
hydraulische Wirksamkeit von Ringraumabdich-tungen	Gasdynamischer Test (GDT®)	(+)	(+)	(+)	(+)	Anwendung wenn Mängel hinsichtlich Teufenlage, Mächtigkeit oder Homogenität von Ringraumabdichtungen anhand anderer Verfahren (z. B. MAL, RGG.D®, NN, GR, SGL®) festgestellt wurden und damit Zweifel an der Dichtigkeit bestehen

Da die bohrlochgeophysikalischen Messverfahren und die im Brunnenbau eingesetzten Materialien und Herstellungsverfahren sehr komplex sind, wird empfohlen, für die Überprüfung von Messstellen und Brunnen möglichst eine Fachfirma schon in die Projektierungsphase mit einzubeziehen.

In Tabelle 1 sind die in Deutschland gebräuchlichsten Materialien zur Abdichtung von Ringräumen zusammengestellt sowie die bohrlochgeophysikalischen Messverfahren, die für ihren Nachweis erforderlich sind.

Die in Tabelle 2 dargestellten Einsatzfälle von Bohrlochgeophysik und Fernsehsondierung können unterschieden werden.

5. Messverfahren

Nachfolgend finden Sie eine Aufstellung der in Brunnen, Grundwassermessstellen und Erdwärmesonden eingesetzten Messverfahren und deren Wirkprinzipien.

SAL/TEMP (Salinität/Temperatur-Log)
Messung der Temperatur und der Leitfähigkeit des Wassers im Brunnen/Messstelle

- zur Bestimmung des Wasserspiegels
- zur Bestimmung der Temperatur und Einschätzung des Mineralisationsgrades des Wasser im Brunnen/Messstelle
- zur Bestimmung von Zufluss- und Verlustbereichen
- Indikationen von Undichtigkeiten an Muffen und Übergängen
- Hinterrohrzirkulationen

OPT (Fernsehsondierung)
Optische Begutachtung der Innenwandungen der Brunnenrohre/Messstelle

- zur Beurteilung des Zustandes der Verrohrungen
- zum Erkennen von Belägen und Ablagerungen
- zum Erkennen von Beschädigungen der Verrohrungen
- zum Erkennen des Zustandes der Filteröffnungen
- zur Feststellung von Korrosionserscheinungen, sofern Korrosion von innen nach außen

CAL (Kaliber-Log)
mechanisches Abtasten der inneren Rohrwandungen

- zur Bestimmung des Rohrinnendurchmessers
- zum Erkennen von Hindernissen, Deformationen oder ähnlichem, zur Vermeidung von Sondenhavarien
- zum Lokalisieren der Rohrverbindungen und der Filterstrecken
- zum Erkennen von Rohrdefekten, -erweiterungen, -verengungen, -ovalitäten und -deformationen
- zum Feststellen von Ablagerungen auf den Innenwandungen der Verrohrung
- zur Volumenberechnung des Brunnens/Messstelle

IL (Induktions-Log)
induktive Messung der elektrischen Leitfähigkeit

- nur bei elektrisch nicht leitendem Ausbau (PVC, Steingut, Kiesklebefilter etc.) einsetzbar
- zum Feststellen von elektrischen Anomalien im Ringraum besonders bei großem Bohrdurchmesser
- zur Aushaltung der Lithologie des Gebirges bei kleineren Bohrdurchmessern
- zur Messung des elektrischen Widerstandes des Gebirges, auch oberhalb des Wasserspiegels, insbesondere für die geologische Gliederung des Gebirges
- zur Bestimmung der Wassersättigung von Gebirge und Ringräumen

GR (Gamma-Ray-Log)
Messung der natürlichen γ-Strahlung von Ausbau und Gebirge

- zur Kontrolle des geologischen Profils
- zur Anzeige von Feinkornanteilen im Filterkies
- zum Feststellen von Kolmationen im Filterbereich
- zur Bestimmung der Lage von Tonsperren bei Verwendung gammaaktiver Materialien

SGL® (segmentiertes Gamma-Ray-Log)
Messung der natürlichen Gammastrahlung von Ringraumhinterfüllung und Gebirge in drei ‚jeweils um 120° horizontal versetzten Segmenten

- zur Lokalisierung und Abgrenzung von Ringraumabdichtungen
- Überprüfung einer rundum homogenen Verfüllung des Ringraums, somit exakte Kontrolle der Wirksamkeit z. B. von Abdichtungen der Ringräume
- zur Gliederung der Lithologie des anstehenden Gebirges
- zur Einschätzung des Gehalts an bindigen Komponenten in der Kiesschüttung
- Einsatz von 50 bis 600 mm Innendurchmesser

GG.D (Gamma-Gamma-Dichte-Log)
Messung der gestreuten γ-Strahlung, die umgekehrt proportional zur Dichteverteilung ist

- zur Einschätzung der Lagerungsdichte im Ringraum (z. B. Brückenbildung)
- zum Tonsperrennachweis
- zur dichteabhängigen Gliederung des anstehenden Gebirges
- zum Erkennen von Rohren abweichender Wandstärke

RGG.D® (Dichte- Ringraumscanner-Log)
um 360° rotierende Messung der relativen Dichteänderung im Ringraum

- Nachweis einer rundum homogenen Verfüllung des Ringraums, somit exakte Überprüfung der hydraulischen Wirksamkeit von Tonsperren und Filterkiesschüttungen

- Überprüfung der Exzentrizität der Rohre
- Einsatz bei Rohrinnendurchmessern von 100 bis 150 mm (4“ bis 6“)

SGG.D (segmentiertes Gamma- Gamma-Dichtelog)
Messung der Dichte von Ringraumhinterfüllung und Gebirge in zwei, jeweils um 180° horizontal versetzten, Segmenten

- Nachweis einer homogenen Verfüllung des Ringraums, somit exakte Überprüfung der hydraulischen Wirksamkeit von Tonsperren und Filterkiesschüttungen
- Einsatz bei Rohrinnendurchmessern von 50 bis 100 mm

NN (Neutron-Neutron- Log)
Messung der gestreuten Neutronenstrahlung, die ein Maß für den Gesamtwasserstoffgehalt darstellt

- zum Erkennen von Tonsperren unbekannter Zusammensetzung
- zur Porositätseinschätzung
- zur Bestimmung des Wassergehaltes im Ringraum
- zur Bestimmung der Wassersättigung des Gebirges
- zur Einschätzung des Gehalts bindiger Bestandteile in der Kiesschüttung

MAL (Suszeptibilitäts-Log)
Messung der Magnetisierbarkeit des Materials

- Metallnachweis (verlorene Rohre und Teile, Zentralisatoren, Mantelrohre)
- zum Erkennen von Tonsperren beim Einsatz von magnetisch markierten Abdichtmaterialien (bei nicht metallischem Ausbau)
- zur Gliederung von Hinterfüllmaterial unterschiedlicher Magnetisierbarkeit

FLOW 0 (Flowmeter-Log)
FLOW1
Umdrehungszahl eines Messflügels im Pumpenstrom

- zur Gliederung des Zuflussverhaltens im Filterbereich
- zum Feststellen der Veränderlichkeit der hydrodynamischen Verhältnisse im Brunnen durch den Regenerierungsprozess
- zur Ursachenforschung bei nachlassender Förderung
- zum Erkennen von Fremdzuflüssen

FWPACK 1 (Packerflowmeter-Log)
FWPACK 2
Messung des Fluiddurchsatzes im Messquerschnitt eines abgepackerten Flowmeters (Umdrehungszahl Messflügel)

- Einschätzung der Durchlässigkeit der Filterschlitze und des brunnennahen Ringraumes (Kiesschüttung)

FEL (focussiertes-Elektro-Log)
Messung des elektrischen Widerstandes

- Bestimmung der Lage der Filterstrecken
- Kontrolle der Dichtheit der Aufsatzrohre (besonders Muffenverbindungen)
- zur Einschätzung des Zustandes der inneren Rohrwandungen (Korrosionserscheinungen, Rohrbeläge, Rohrverkrustungen - hierzu auch in Metallverrohrungen einsetzbar!)

TFL (Tracer-Fluid-Log)
Beobachtung der Wasserbewegung im Brunnen unter verschiedenen Anregungszuständen und bei gezielter Zugabe eines NaCl-Tracers

- besonders geeignet zum Nachweis von Wasserbewegungen von geringem Ausmaß sowohl in Ruhe als auch bei Fremdanregung
- zur Einschätzung der dynamischen Verhältnisse im Brunnen
- zur Prüfung auf Leckstellen in den Aufsatzrohren, insbesondere bei Stahlausbau
- zur Ermittlung der Filtrationsgeschwindigkeit (Grundwasserfließgeschwindigkeit)

EMDS (Elektromagnetisches Wanddicken-Log)
Messung der Wanddicke von Stahlrohren

- Verfahren zur Bestimmung des Zustandes von Stahlrohren
- liefert Aussagen zu Leckstellen und Durchrostungen bzw. Rostansatz und Restwandstärke
- liefert Angaben über mehrere teleskopierte Rohrtouren
- quantitative Ergebnisse bis zu einem Innendurchmesser von 500 mm

BA (Bohrlochverlaufs-Log)
kontinuierliche Messung von Azimut und Neigung

- Prüfung, ob Brunnen oder Messstelle lotrecht verläuft
- keine oder nur geringe Neigung eines Brunnens/Messstelle als Voraussetzung für das ordnungsgemäße Einbringen der Brunnenrohre, der Filterkiesschüttung und der Ringraumverfüllung
- große Neigung als häufige Ursache für Sandeintrag im Filter
- wichtige Information für den Rückbau (Überbohren)

TP (teufenorientierte Probenahme)
Einsatz eines motorischen Probenehmers am Bohrlochmesskabel

- Entnahme teufenorientierter Wasserproben, die hermetisch gegenüber der Umgebung abgeschlossen werden

Packertest
Einsatz eines Einfach- oder Doppelpackers

- zum endgültigen Nachweis der Dichtheit von Rohrmuffenverbindungen
- Einsatz möglichst erst nach FEL-Messung (Screeningverfahren)

FMT (fotometrisches Trübungs-Log)
Einsatz eines Fotosensors zur Messung der Transparenz des Wassers

- Nachweis von Sandeintrag, auch wenn makroskopisch nicht mehr sichtbar
- Messung der Grundwasserfließgeschwindigkeit durch Zugabe eines Tracers (EU-zugelassener Lebensmittelfarbstoff)

FMK (fotometrisches Fließrichtungs-Log)
fotometrische Ermittlung der Fließrichtung in Grundwassermessstellen (Einbohrlochmethode)

- direkte Ermittlung der Fließrichtung in Grundwassermeßstellen durch Zugabe eines Tracers (EU-zugelassener Lebensmittelfarbstoff)
- einsetzbar in Messstellen ab DN 80 mm
- möglichst vorher über FMT-Messung Bereiche mit hoher Fließgeschwindigkeit bestimmen
- maximale Einsatzteufe 300 m

MIL (Milieu-Log)
Messung von pH-Wert, Sauerstoffgehalt, Redoxpotential, Temperatur u. Leitfähigkeit des Wassers

- Ermittlung von Zuflüssen verschiedener Grundwasserqualitäten
- Überwachung von Kontaminationen
- Ermittlung der Qualität von Wässern
- in situ-Monitoring von Grundwassermessstellen und Brunnen

GDT® (Gasdynamischer Test)
Nachweis der hydraulischen Wirksamkeit von Ringraumabdichtungen über der bohrlochgeophysikalischen Messung von Stickstoffmigrationspfaden

- Test zum Nachweis der hydraulischen Wirksamkeit von Ringraumabdichtungen

Zusammenfassung

Bohrungen sowie deren Ausbau zu Brunnen, Messstellen oder Erdwärmesonden, sind ein Eingriff in die Ressource Grundwasser, der bei nicht sachgerechter Ausführung zu Schäden der Güte und Menge des Grundwassers führen kann. Technische Vorschriften und Regeln, insbesondere die vom DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.) herausgegebenen Arbeitsblätter und Regelwerke, schreiben einen sehr verantwortungsbewussten Umgang mit unseren als Grundwasser gespeicherten Trinkwasserressourcen vor. Leider ist festzustellen, dass deren Einhaltung von verschiedenen Seiten nicht immer so genau genommen wird. Gerade der in den letzten Jahren entstandene Boom zur Gewinnung regenerativer Energie aus Erdwärme zeigt, dass eine strikte Kontrolle derartiger Baumaßnahmen unverzichtbar ist, wenn wir auch den nachfolgenden Generationen noch nutzbare Grundwasserlagerstätten in ausreichender Menge erhalten wollen. Andernfalls laufen wir Gefahr, dem Problem der allgemeinen Erderwärmung mit der Schaffung eines neuen Problems, nämlich der Schädigung der für die Zukunft so wichtigen Trinkwasserressourcen, beizukommen.

Bei der Abnahme von Brunnen, Grundwassermessstellen und zunehmend auch Erdwärmesonden ist die Bohrlochgeophysik mit ihren für diese Anwendung entwickelten Spezialverfahren, spezialisierten Anwendungen von Einzelverfahren und Verfahrenskomplexen heute unverzichtbar. Deren Bedeutung wird u .a. dadurch unterstrichen, dass der DVGW hierfür ein eigenständiges Arbeitsblatt mit dem Titel „Geophysikalische Untersuchungen in Bohrungen, Brunnen und Grundwassermessstellen – Zusammenstellung von Methoden und Anwendungen“ herausgegeben hat. Zu den Mindestanforderungen an einen Brunnen, eine Grundwassermessstelle oder eine Erdwärmesonde gehören dabei:

- eine genaue Kenntnis der lithologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich der abgeteuften Bohrung,
- das Vorhandensein von Ringraumabdichtungen, sowie deren Korrespondenz mit dem geologischen Schichtenprofil, sofern von dem Bauwerk mehrere Grundwasserleiter erfasst werden,
- der Ausschluss von Brückenbildungen, d. h. von unverfüllten Bereichen im Ringraum (Brücken im Ringraum sind Havariegefahren!),
- die Dichtheit der Aufsatzrohre, insbesondere der Rohrverbindungen und
- die genaue Kenntnis der Lage der Filterstrecke.

Bei der Überprüfung von Erdwärmesonden sind deren Innendurchmesser von z. T. unter 30 mm für die bohrlochgeophysikalische Kontrolle mit herkömmlichen Sonden nicht geeignet. Einer Forderung zahlreicher Landesbehörden, aus Gründen des Grundwasserschutzes diese auch zu kontrollieren, folgend, werden entsprechend klein dimensionierte Sonden voraussichtlich noch im Jahr 2008 zur Verfügung stehen.

Bei Rückbaumaßnahmen wird sehr häufig vergessen, dass aus Gründen des Grundwasserschutzes und nach dem Stand der Technik (vergl. DVGW-Arbeitsblatt W 135) eine ausschließliche Verfüllung von Brunnen oder Grundwassermessstellen nur dann zulässig ist, wenn hydraulisch wirksame Abdichtungen, z. B. Tonsperren, im Ringraum vorhanden sind. Dies ist mit modernen bohrlochgeophysikalischen Messmethoden, auch bei Altbrunnen oder -messstellen, heute zweifelsfrei feststellbar.

Das Problem des Anstiegs der Süß-/Salzwassergrenze ist in verschiedenen Bundesländern in den vergangenen Jahren sehr akut geworden. Hier bietet die Bohrlochgeophysik eine erprobte, einfache und sehr zuverlässige Möglichkeit, Monitoringsysteme einzurichten.

Summary

Boreholes and the resulting wells, measuring points or borehole heat exchangers are an intrusion into the groundwater resource and an inappropriate execution can result in high damage to quality and quantity of groundwater. Technical regulations and rules, in particular worksheets and rules issued by the DWGW (German association of gas and water e. V.), dictate a responsible use of our groundwater resources. Unfortunately, compliance from various sides is not always as accurate. Especially in recent years the resulting boom for renewable energy from the Earth's heat shows, that a strict control of such constructions is essential for the benefit of groundwater resources for future generations. Otherwise, we will combine the general problem of global warming with the creation of a new problem - the damage to our major water resources.

Geophysical well-logging with its for this application developed special processes, specialized applications and procedures is indispensable for today's analysis of wells, ground water monitoring stations and, increasingly, borehole heat exchangers. The importance is so high that the DVGW has published a separate worksheet, entitled "Geophysical investigations in boreholes, wells and groundwater monitoring stations - compilation of methods and applications". Among the minimum requirements for a well, a groundwater observation point or a borehole heat exchanger are:

- a detailed knowledge of the lithological and hydrogeological conditions in the area of the borehole
- the presence of annular seals, and their correspondence with the geological profile (if more than one aquifer is documented)
- the exclusion of unfilled areas of annular space
- the hydraulic tightness of the casing, in particular the pipe connections
- the precise knowledge of the position of the screens

For the control of borehole heat exchangers their inner diameter of below 30 mm presents a real problem, as suitable tools are not readily available. Nevertheless many state authorities, for reasons of groundwater protection, require a control of these exchangers and small sized tools are in the state of development and can probably be expected in 2008.

It is often forgotten that in term of the deconstruction of wells a refilling is only allowed if hydraulic seals are present in the annular space of the casing (see DVGW-worksheet W 135). These are clearly identifiable by modern borehole-geophysical methods even for older and undocumented wells and observation points.
In various federal countries the problem of the rising fresh-/saltwater-boundary has become very acute in recent years. Well-logging proves to be a simple and very reliable way to monitor the system.

Literatur

DVGW-Arbeitsblatt W 110 (2005): Geophysikalische Untersuchungen in Bohrungen, Brunnen und Grundwassermessstellen – Zusammenstellung von Methoden und Anwendungen. - wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn

DVGW-Arbeitsblatt W 121 (2002): Bau und Ausbau von Grundwassermessstellen. - wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn

DVGW-Arbeitsblatt W 123 (2001): Bau und Ausbau von Vertikalfilterbrunnen. - wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn

DVGW-Merkblatt W 124 (2001): Kontrollen und Abnahmen beim Bau von Vertikalfilterbrunnen. - wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn

DVGW-Arbeitsblatt W 135 (1996): Sanierung und Rückbau von Bohrungen, Grundwassermessstellen und Brunnen. - wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn

DVGW (2003): Untersuchungen zur Bestimmung von Qualitätskriterien für Abdichtungsmaterialien im Brunnenbau. - Studie, http://www.dvgw.de/wasser/informationenfrdasfach/wasserversorgung.html#dichtung

Baumann, K. (2004a): Geophysikalische Möglichkeiten einer Qualitätssicherung nach W 110. - Schriftenreihe Institut WAR zum Darmstädter Seminar Wasserversorgung 2004, Bd. **158**, Darmstadt

Baumann, K. (2004b): Zustandsermittlung von Brunnen mittels neuer bohrlochgeophysikalischer Messverfahren. - Der Mineralbrunnen, Nr. 02/2004, Genossenschaft Deutscher Brunnen eG, Bonn

Baumann, K., Burde, B. & Ch. Liebau (2004): Monitoringmethoden für Wasserwerksstandorte mit Salzwassergefährdung. - bbr Wasser, Kanal- & Rohrleitungsbau, Nr. 11/2004 und 01/2005, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn

Baumann, K., Burde, B. & J. Goldbeck (2003): Fortschritte der Bohrlochgeophysik bei der Untersuchung von Grundwassermessstellen. - bbr Wasser, Kanal- & Rohrleitungsbau, Nr. 07/2003, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn

Baumann, K. & W. Puchert (2007): Radioaktivität in Brunnen und im Förderwasser – ein Phänomen? - bbr Fachmagazin für Wasser- und Leitungstiefbau, Nr. 6/2007, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn

BAUMANN, K. & M. THOLEN (2001): Mängel an Brunnen und Grundwassermessstellen. - bbr Wasser, Kanal- & Rohrleitungsbau, Nr. 1/2001, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln

BAUMANN, K., LEWIN, H. G. & L. P. NOLTE (2003): Nachträgliche Herstellung von Ringraumdichtungen als Sanierungsmaßnahme für Brunnen und Grundwassermessstellen. - bbr Wasser, Kanal- & Rohrleitungsbau, Nr.3/2003, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln

BAUMANN, K., THOLEN, M. & C. TRESKATIS (2003): Qualitätskriterien für Abdichtungssuspensionen im Brunnenbau. - bbr Fachmagazin für Wasser- und Leitungstiefbau, Nr. 4/2003, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn

BAUMANN, K. & I. PFENNER (2006): Bohrlochgeophysikalischer Nachweis von sekundär eingebrachten Ringraumabdichtungen. - bbr Fachmagazin für Wasser- und Leitungstiefbau, Nr. 7/8/2006, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn

FRICKE, S. & J. SCHÖN (1999): Praktische Bohrlochgeophysik. - 254 S., (ENKE im Georg Thieme Verlag), Stuttgart

NIEHUS, B. (2002): Anforderungen und Problematiken von Abdichtungen in Bohrungen, Messstellen und Brunnen. - bbr Wasser, Kanal- & Rohrleitungsbau, Nr. 3/2002, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln

NOLTE, L.-P., TEWES, S., & K. BAUMANN (2004): Pflege, Sanierung und Rückbau von Grundwassermessstellen. - bbr Fachmagazin für Wasser- und Leitungstiefbau, Nr. 1 und 2/2004, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn

HOUBEN, G. & C. TRESKATIS (2003): Regenerierung und Sanierung von Brunnen. - Oldenbourg Industrieverlag, München

Anschrift des Autors:
Dipl.-Geol. Karsten Baumann
Geschäftsführer der Bohrlochmessung - Storkow GmbH
Schützenstraße 33
15859 Storkow
Telefon 033678-43630; Telefax 033678-43631
baumann@blm-storkow.de;
www.blm-storkow.de

Brandenburg. geowiss. Beitr.	Kleinmachnow, Cottbus	**15** (2008), 1/2	S. 99-108	9 Abb., 12 Lit.

Geologische Verhältnisse im Bereich der archäologischen Grabungen Berlin-Biesdorf

Geological situation setting of archaeological excavations in Berlin-Biesdorf

Helmut Knape & Arthur Brande

1. Einleitung

Im Zusammenhang mit der Vorbereitung einer zwölf Hektar großen Fläche für die Errichtung von Wohnsiedlungen wurden im Zeitraum von 1998 bis 2008 umfangreiche archäologische Grabungen durchgeführt, die von geologischer Seite mit einer detaillierten Aufnahme der Aufschlüsse im Teufenbereich bis maximal drei Meter unter Geländeoberkante begleitet wurden. Die archäologische Bearbeitung des Gebietes erfolgte durch die Arbeitsgemeinschaft Baugrund Archäologie Schirmer & Bräunig GbR. Für die geologische Auswertung wurden die erforderlichen Unterlagen aus dem Karten- und Bohrarchiv der Arbeitsgruppe Landesgeologie der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie zur Verfügung gestellt. Die geologische Geländeaufnahme erstreckte sich vorrangig auf 84 ausgegrabene Brunnenschächte, ca. 1 200 m neu angelegte Abwasserkanalisationsgräben und drei Transekte im Wuhletal.

Das Grabungsgebiet mit den ausgewiesenen Teilfeldern (Abb. 1) befindet sich südlich von Berlin-Biesdorf im nördlichen Randbereich des Berliner Urstromtals westlich der Wuhlerinne. Die nur schwach nach Norden ansteigende, mit 0,5 bis 0,6 m Humusboden bedeckte weichselzeitliche Sandfläche befindet sich in der Höhenlage zwischen 37,5 und 39,0 m über NN. Der steilere Anstieg zur Barnimhochfläche auf 50 m NN erfolgt in der Entfernung von 500 m. In Richtung Wuhlerinne fällt das Gelände auf 36,5 m NN ab.

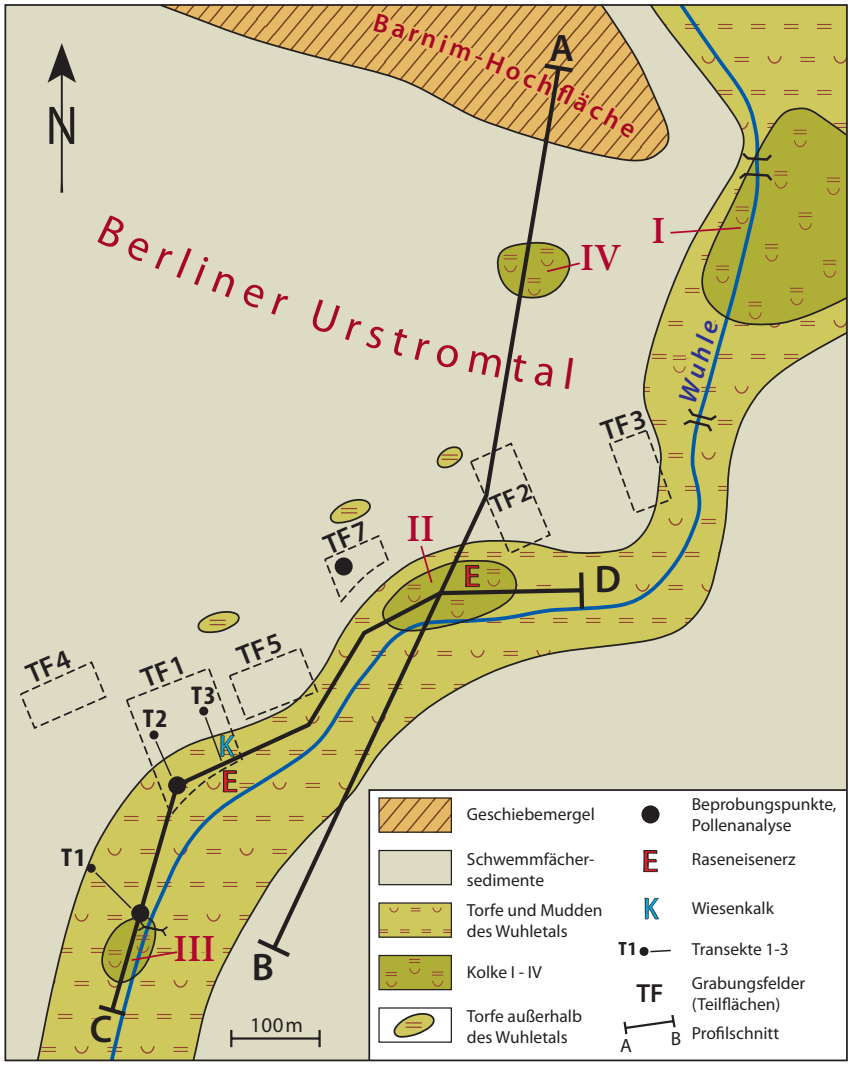


Abb. 1
Lage des Untersuchungsgebietes
Fig. 1
Location of the investigation area

Im Bereich der Grabungsfläche hat das Wuhletal eine Breite von 60 bis 150 m. Es hat hier die Form einer flachen Delle, in welche die heutige Wuhlerinne mit einer etwa 2 m tiefen Böschung 6 bis 8 m breit eingeschnitten ist. Nach dem Eintritt der Wuhle aus dem Bereich der Barnimhochfläche in das Berliner Urstromtal folgt ihr Lauf zunächst weiter der vorgegeben Nord–Süd-Richtung. In Höhe des Grabungsfeldes TF 3 (Teilfeld 3, Abb. 1) biegt sie mit scharfem Knick ca. 300 m nach Westen ab, um danach wieder im leicht geschwungenen Bogen der Nord–Süd-Richtung zu folgen. Die gegenwärtig auf der Barnimhochfläche in der Gegend von Ahrensfelde als kleines Rinnsal entspringende Wuhle war im ausgehenden Weichselglazial wichtige Abflussbahn für ein weitgefächertes Schmelzwasserabflusssystem.
Im Bereich der Grabungsfelder und deren Umgebung treten drei lithologisch verschiedenartige Gebiete auf: die Geschiebemergelhochfläche des Barnim, die südlich vorgelagerte Sand/Kies-Fläche des Urstromtals und das vorwiegend mit organogenen Sedimenten des Weichsel-Spätglazials und des Holozäns ausgefüllte Wuhletal.

2. Geologische Situation

2.1 Geschiebemergel, glazifluviatile Sedimente des Urstroms

Der im nördlichen Randbereich des Berliner Urstromtals in Berlin-Biesdorf an der Erdoberfläche anstehende Geschiebemergelkomplex streicht dort mit einer Mächtigkeit von ca. 5 m aus (Abb. 2).

Im Bereich des Urstromtals ist nur der Warthe-Geschiebemergel mit etwa 10 m Mächtigkeit vertreten. Er keilt jedoch schnell aus und ist dann im Bereich der Grabungsfelder nur noch in Form von erodierten Resten mit einer sandigen Stein-Kies-Sohle anzutreffen, die in Teufenbereichen zwischen 10 und 16 m unter Geländeoberkante durch Bohrungen nachgewiesen wurden. Aus den Ergebnissen tieferer Bohrungen in der näheren Umgebung des Untersuchungsgebietes sind darunter noch etwa 100 m Pleistozän (vorwiegend sandige Ausbildung des unteren Saale-Glazials, Holstein-Interglazial und Elster-Glazial) vertreten. Es folgen etwa 100 m Tertiär und darunter kalkige Schichten der Kreideformation.

Über den Erosionsresten des Geschiebemergelkomplexes folgen fein- bis grobkörnige Sande des Urstroms, die in Abhängigkeit von der Entfernung zur Barnim-Hochfläche und der Intensität der Schmelzwasserzuführung aus dem Hochflächenbereich, insbesondere über das Wuhletal, vermutlich mehr oder weniger stark mit aus der Grundmoräne zugeführtem Material (grobklastisch, kantig bis kantengerundet) durchsetzt sind. In dieser Schichtenfolge kommen gut sortierte und mit gerundeten Quarzkörnern angereicherte Sande sowie xylitführende Braunkohlenreste vor. Tiefreichende Baugruben wiesen in der Umgebung in der Teufe von drei Metern unter Geländeoberfläche eine stark kiesige Grobsandschicht mit dezimetergroßen Xylitstücken nach. Im aufgeschlossenen oberen Bereich ist weit verbreitet Schrägschichtung mit Einfallen in Richtung West bis Nordwest erkennbar.

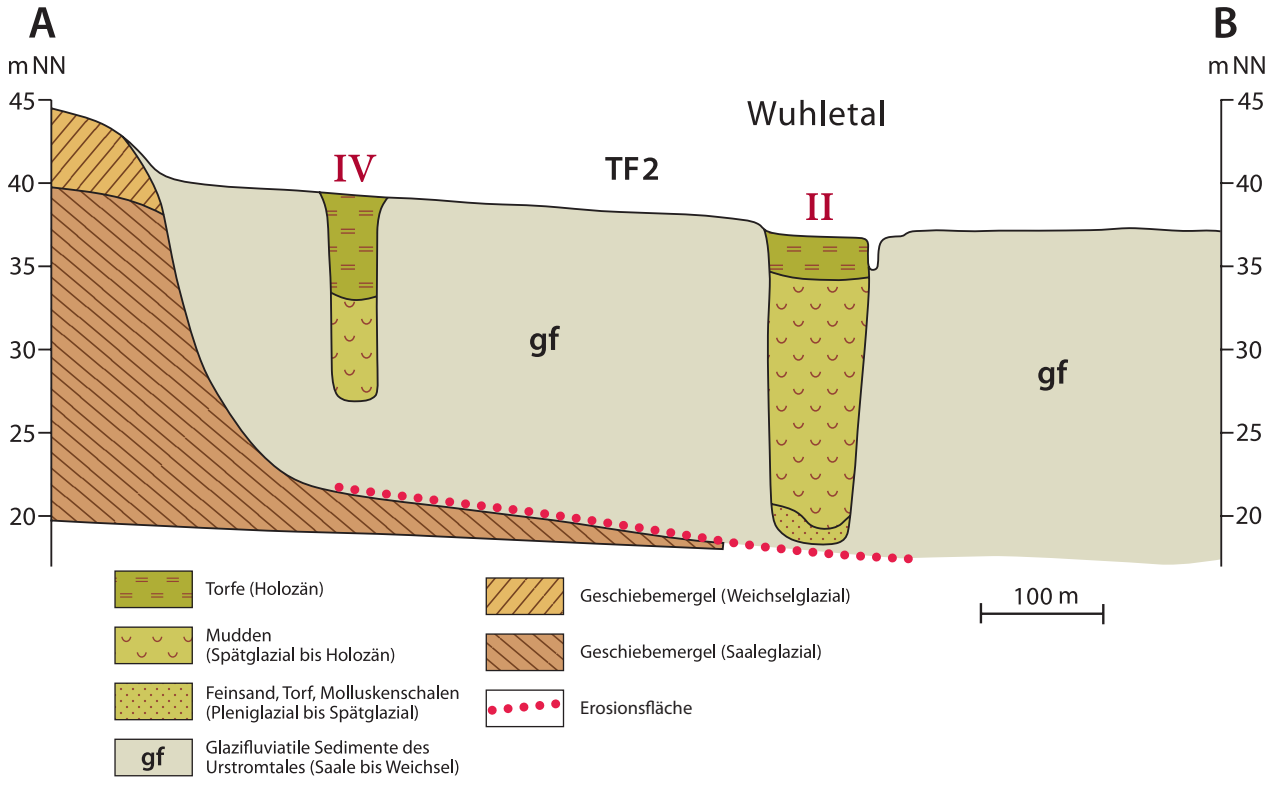


Abb. 2 Vereinfachter geologischer Profilschitt A – B
Fig. 2 Simplified geological cross section A – B

2.2 Schwemmfächersedimente

Die nach oben anschließende Schichtenfolge war durch ein Netz von Kanalisationsgräben und eine große Anzahl tiefer Fundgruben gut aufgeschlossen. In der Regel handelt es sich dabei im Liegenden um gut sortierte bindemittelfreie feinkörnige Sande. Die Sande sind feingeschichtet und lagern mehr oder weniger horizontal. Streckenweise tritt hier ebenso eine deutlich erkennbare, in Richtung West bis Nordwest orientierte Schrägschichtung auf. Soweit feststellbar, ist zum Hangenden eine flachgewellte Diskordanzfläche ausgebildet, in welche ein weit verzweigtes System von Schmelzwasserabflussrinnen (Abb. 3) eingeschnitten ist.

Darüber folgt eine unregelmäßige Wechsellagerung von fein- bis mittelsandigen und grobsandig-kiesigen Schichten, deren ursprünglicher Schichtenverband durch periglaziale Prozesse (u. a. Kryoturbation) mehr oder weniger stark gestört ist. Die fein- bis mittelsandigen Schichten sind im cm-Bereich laminiert. Unregelmäßig verstreut sind mitunter vereinzelt gröbere Gesteinskomponenten zu beobachten. Die stark grobsandigen Schichten weisen einen erheblichen Anteil kantiger Kiese und Steine auf. Der Durchmesser der größten Steine (ab 6,2 cm) liegt bei 9 cm. Der gesamte Schichtenverband ist in der Regel gut geschichtet, wobei neben der horizontalen, sich überlagernde und/oder sich kreuzende Schrägschichtungen (Abb. 4 und 5) auftreten.

Die einzelnen Schichten werden oft durch Diskordanzflächen und/oder 5 bis 15 cm mächtige schluffige Feinsandlagen 1-3 (Abb. 6) abgegrenzt.

Abb. 3
Periglaziale Schichtenfolge mit flacher Abflussrinne und kiesiger Grobsandfüllung; Blickrichtung von Ost nach West

Fig. 3
Periglacial sequence with a flat channel filled with coarse sand and gravel sediments; view from east to west

Abb. 4
Horizontal lagernde schluffige Feinsandschicht zwischen schräggeschichteten Mittelsanden

Fig. 4
Horizontal silty fine sand layer between cross-bedding medium sands

Abb. 5
Schräggeschichtete Mittelsande

Fig. 5
Cross-bedding medium sands

Abb. 6
Stratigraphische Abfolge mit drei Feinsandlagen und tiefreichender Verbraunung

Fig. 6
Stratigraphical sequence with three fine sand layers and in-depth iron release

Abb. 7
Girlandenförmige schluffige Feinsandlage an der Basis der Auftauzone

Fig. 7
Garland shaped silty fine sand layer at the basement of the ice melting horizon

Abb. 8
Schluffige Feinsandlage mit Flaser-, Wellen- und Rippelschichtung

Fig. 8
Flaser, wavy and ripple beddings in a silty fine sand layer

Ein vorwiegend örtlich begrenzt auftretendes, markantes schluffiges Feinsandband wird in der Regel im Liegenden und/oder im Hangenden von grobsandig-kiesigen Schichten begleitet. Die an der Basis im Anschnitt meist mehr oder weniger girlandenförmig ausgebildete Lage (Abb. 7) keilt gewöhnlich auf kürzere Entfernung aus bzw. wird diskordant gekappt. Mitunter deutlich erkennbare Wellenstrukturen (Abb. 8) weisen auf stagnierende Flachwasserverhältnisse hin.

Die offensichtlich im ruhigen Flachwassermilieu sedimentierten Feinsandbänder werden als Indikator für den Wechsel von Trockenfall- und Überflutungsphasen im Uferbereich gedeutet. Im hydrodynamischen System wirken sie als Wasserstauer und Steuerelement für die Kryoturbationsvorgänge in der periglazialen Auftauzone. Gleichermaßen beeinflussten sie die Zuflussbedingungen zu den prähistorischen Brunnen.
Die Wechsellagerung wird im Hangenden vorwiegend durch bis 60 cm mächtige ungeschichtete Feinsande überlagert, die vermutlich im beträchtlichen Ausmaß mit Flugsand vermischt bzw. überdeckt sind. Eindeutig windgeschliffene Kleingeschiebe sind nur selten zu beobachten. Die vielfach anzutreffenden Flugsandeinwehungen sind naturgemäß nicht immer eindeutig als solche anzusprechen. Ein in Richtung Ost–West verlaufender Dünenzug mit prähistorischer Bedeutung (Fundstellen steinzeitlicher Artefakte) befindet sich südlich der Grabungsfläche (Reinbacher 1956, 1957).
Darüber folgt der durch menschlichen Einfluss stark veränderte 40-60 cm mächtige humose Oberboden (A-Horizont), der weit verbreitet dem verschieden stark rostfleckig ausgebildeten Liegenden (B-Horizont) aufliegt. In der Nähe der Wuhle waren an drei Stellen geringfügige Torfeinlagerungen zu beobachten. Erwähnenswert sind hier auch die ca. 200 m nördlich von TF 2 im Kolk IV außerhalb des Wuhletals erbohrten, mit 6,4 m ungewöhnlich mächtigen Torfschichten, die von ebenso mächtigen Mudden unterlagert sind (Abb. 2).

2.3 Organogene Sedimente des Wuhletals

Die Sedimente des Wuhletals sind in Oberflächennähe stark anmoorige und torfige Schichten, die sich im Randbereich vielfach mit den angrenzenden sandig-kiesigen Schichten verzahnen. Die durch pollenanalytische Untersuchungen nachgewiesenen ältesten Torfablagerungen gehören dem Alleröd an (Brande 2008). Es handelt sich dabei um 24 cm Torf, dem im Liegenden von oben nach unten 10 cm graue Mudde, 15 cm sandige Mudde, 16 cm grau-humoser Ton und 15 cm heller Sand folgen. Lokal sind Raseneisenerz und Wiesenkalk (Seekalk) ausgebildet. So konnte Raseneisenerz in Ausbuchtungen des Wuhletals im unteren Bereich von TF 1 und südwestlich von TF 2 nachgewiesen werden. Eine Linse mit Wiesenkalk – vermutlich ein Depot für prähistorische Kalkbrennöfen – wurde bei den Grabungen im oberen Bereich unterhalb von TF 1 angetroffen. Die ebenfalls stark vertretenen Mudden zeichnen sich häufig durch reichlich Molluskenschalen aus.

In der Wuhlerinne treten in gewissen Abständen tiefe Kolke auf, die vorwiegend mit Mudden ausgefüllt sind. Der durch 9 Bohrungen aufgeschlossene Kolk unterhalb von TF 2 (Abb. 2 und 9) hat quer zur Rinnenachse einen Durchmesser von ca. 70 m. An der Geländeoberfläche stehen bis zu 4,5 m mächtige Torfe mit lokalen Raseneisenerzeinlagerungen und mehr oder weniger sandigem Eintrag vom Uferrand her an. Lokal sind bis 3 m mächtige Bodenveränderungen verbunden mit Auffüllungen nachweisbar, die von einer starken menschlichen Beeinflussung zeugen. Die Basis des Kolks liegt ca. 20 m unter der Erdoberfläche (17 m NN). Die Sedimentfüllung besteht vorwiegend aus ca. 4 m mächtigen Mittel- bis Grobsanden, Kiesen und Steinen, die von glazifluviatilem Fein- bis Mittelsand des Saale-Glazials unterlagert werden. Darüber folgen etwa 1,5 bis 2,5 m mächtige torfige Feinsande und Torfe mit Molluskenschalen, die möglicherweise einer der Wärmeschwankungen des Weichselspätglazials zuzuordnen sind.

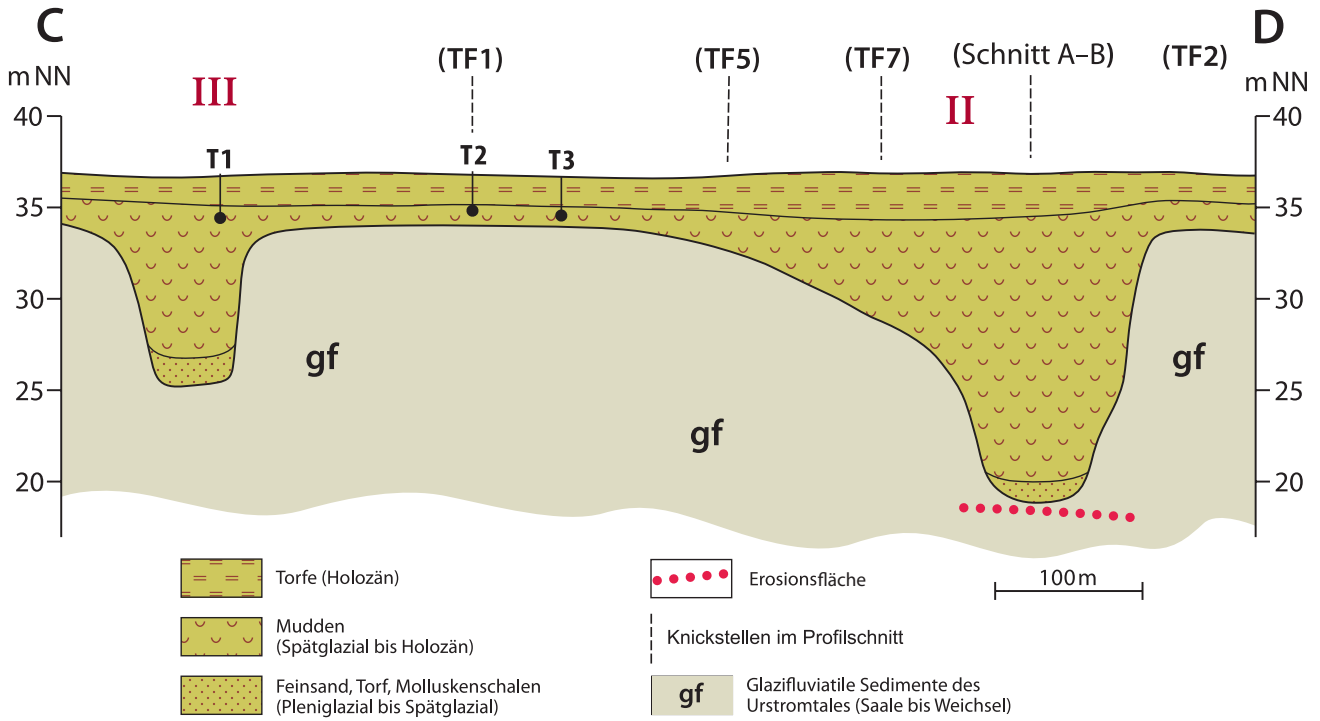


Abb. 9 Vereinfachter geologischer Profilschnitt C – D
Fig. 9 Simplified geological cross section C – D

Mit Kolk (Strudelloch) werden hier in der Wuhlerinne auftretende steilwandige Hohlformen bezeichnet, die mit Mudden und Torfen ausgefüllt sind. Sie sind vermutlich unter Permafrostbedingungen im Periglazial bei der Bildung turbulenter Ströme hinter Gefällekanten, bei der Einmündung seitlicher Zuflüsse oder an Rinnenkrümmungen entstanden. Mit Eis konserviert begann ihr Auftauen im Weichsel-Spätglazial. Eine spezielle Abhandlung zu dieser Problematik wird angestrebt. In diesem Zusammenhang sei auf die Arbeiten von BROSE (2000), SCHULZ & STRAHL (2001), SCHULZ & BROSE (2005) verwiesen.

3. Hydrogeologische Situation

Der Grundwasserspiegel befindet sich im Bereich der Grabungsfelder gegenwärtig mit lokalen Abweichungen zwischen 3,20 und 3,60 Meter unter Geländeoberkante. Langzeit-Pegelmessungen weisen in Zeiträumen mit hohem Wasserverbrauch Werte über vier Meter aus. Die genannten Werte entsprechen jedoch nicht den natürlichen Verhältnissen. Die umfangreiche Versiegelung durch Baumaßnahmen und das Ableiten erheblicher Niederschlagsmengen in die Kanalisation beeinflussen im gesamten Einzugsgebiet das Eindringen der Niederschläge in den Boden, wodurch auch die Zuführung von Niederschlagswässern in die Wuhlerinne verringert wird. Darüber hinaus ist eine Absenkung des Grundwasserspiegels durch das Wasserwerk Kaulsdorf zu verzeichnen. Insgesamt wird eingeschätzt, dass im Vergleich zu früheren Zeiten gegenwärtig das Niveau des Grundwasserspiegels einen Tiefstand erreicht hat. Noch vor etwa 150 Jahren gab es ausgedehnten Überschwemmungs- und Feuchtgebiete.

Die durchweg sandig-kiesige Schichtenfolge weist im Untersuchungsgebiet für Wasser relativ gute Speicher- und Durchflusseigenschaften auf, deren Werte allerdings in Abhängigkeit von dem lokal auftretenden hohen Feinsandanteil (bis über 90 %) stark herabgesetzt werden können. Aus den gewonnenen geologischen Befunden, gestützt durch die archäologischen Ausgrabungsergebnisse in 84 Brunnen, kann für den Zeitraum der prähistorischen Besiedlung eine Höhe des Grundwasserspiegels von durchschnittlich 1,60 m unter Geländeoberfläche abgeleitet werden. Das entsprach vermutlich annähernd dem Niveau des Wasserspiegels in der damaligen Wuhlerinne.

Die über dem Grundwasserspiegel befindliche Schichtenfolge wurde in ihrem oberen Bereich durch periglaziale Prozesse stark beeinflusst, wodurch sich die hydrogeologischen Vorgänge unübersichtlich gestalteten. Die in der periglaziären Auftauzone befindlichen Wässer stiegen zum Teil bis zur damaligen Erdoberfläche auf und schufen Bewegungsbahnen, die in erheblichem Maße das Eindringen von Oberflächenwasser (Sickerwasser) nach unten vorzeichneten. Die sich zwischen dem vom Grundwasser aufsteigenden Kapillarwasser und dem humosen A-Horizont vollziehenden hydrogeologischen Prozesse zeichnen sich vorwiegend in den porösen und durchlässigen grobsandig-kiesigen Zonen durch eine starke Braunfärbung ab. Das sauerstoffhaltige Sickerwasser mischt sich dort mit dem eisenhaltigen Grundwasser und oxidiert das gelöste Eisenoxyd zu braunem Eisenhydroxid. Dieser Prozess wurde im Bereich der

prähistorisch angelegten Brunnen infolge der damaligen Nutzung im starken Maße aktiviert. In geeigneten Aufschlüssen lassen sich die Wasserzirkulationswege verfolgen und in Verbindung mit archäologischen Fakten Hinweise auf die damalige Wasserversorgung ableiten.
Für die örtliche Situation bleibt auf Grund der Pollenanalyse festzuhalten, dass mit Beginn des nachweislichen Siedlungsgeschehens in der Jungbronzezeit die permanenten, eine transgredierende Torfbildung begünstigenden Wasserstände im Wuhletal bei 36-36,5 m NN gelegen haben. Die sehr schwache Torfbildung von der Eisenzeit bis zur Slawenzeit lässt erkennen, dass die Wasserstände keinesfalls weiter angestiegen sind. Die nachfolgende Entwicklung der Wasserstände ist aus den Pollenanalysen im Grabungsschnitt nicht mehr erschließbar. Die zahlreichen Brunnen am oberen Rand des Wuhletals zeigen jedoch, dass im Zeitraum von 700 v. Chr. - 100 n. Chr., also von der Eisenzeit bis zur Römischen Kaiserzeit, eine Absenkung der Sohlentiefen von 36,6 auf 35,2 m NN stattgefunden hat (Schirmer 2005).

4. Zu den prähistorischen Lebensbedingungen aus geologischer Sicht

Der Beitrag zu den prähistorischen Siedlungs- und Lebensbedingungen umfasst die Zeitspanne von der Vorrömischen Eisenzeit bis zur Slawenzeit. Wie bereits dargelegt, befand sich die archäologische Grabungsfläche oberhalb des Grundwasserspiegels auf dem nördlich der Wuhleniederung gelegenen trockenen Rand des Urstromtals, der hier von 38 m NN auf 39 m NN leicht in Richtung Geschiebemergelhochfläche des Barnims ansteigt. Das südlich vorgelagerte Gebiet war weitgehend vertorftes Feuchtgebiet. Noch im 19. Jahrhundert lassen topographische und geologische Karten ausgedehnte Überschwemmungs- und Feuchtgebiete in der näheren und weiteren Umgebung erkennen. Wie auch Funde aus der Nachbarschaft bestätigen, war der durch die Schüttung sandig-kiesiger Schmelzwassersedimente von der Barnim-Hochfläche während des Weichsel-Glazials erhöhte Randstreifen bevorzugtes prähistorisches Siedlungsgebiet. Allerdings weisen die Funde der spätpaläolithischen Feuersteinstielspitzen im Bereich des 700 m südlich der Grabungsfläche die Wuhle in Richtung Ost–West querenden Dünenzuges auf eine frühe Anwesenheit nomadisierender Jäger im tiefer gelegenen Teil des Urstromtals hin.
Die prähistorischen Siedlungs- und Lebensbedingungen waren im Untersuchungsgebiet aus geologischer Sicht optimal. Trinkwasser konnte mittels Brunnen aus den grobsandigen bis kiesigen Mittel- bis Feinsandschichten schon im Teufenbereich ab 1,2 m unter Geländeoberfläche geschöpft werden. Der sandige humusreiche Boden (Rostbraunerde und Parabraunerde, z. T. vergleyt) hatte mit seinem ursprünglich schwachen lehmigen bis mergeligen Anteil günstige Wachstumsbedingungen und war relativ leicht zu bearbeiten. Für die Holzversorgung standen dichte Waldbestände – Eichenmischwald mit Rot- und Hainbuche – vor allem auf der nahe gelegenen Geschiebemergelhochfläche des Barnims zur Verfügung. Größere Steine und reichlich Geschiebelehm waren für alle möglichen Zwecke, insbesondere für den Bau von Brennöfen und Brunnenfassungen zu beschaffen.
Die Ausgrabung eines Kalkbrennofens und die Funde von prähistorischen Eisenschlacken zwingen zu einer näheren Betrachtung der geologischen Voraussetzungen für die Beschaffung der entsprechenden Rohstoffe. Als verhüttungsfähiges Material standen lediglich Raseneisenerz und Wiesenkalk zur Verfügung. Beide kommen am Ort und in der näheren Umgebung vor (Kaunhowen & Dietz 1933, Dietz 1937). Das während der Grabungsarbeiten in den Torflagern des Wuhletals im Teufenbereich bis etwa 2 m unter Geländeoberkante aufgeschlossene Raseneisenerz wurde nur noch in geringen Mengen vorwiegend nesterartig in feiner, oft diffuser Verteilung angetroffen. Größere abbauwürdige Lager konnten dort nicht festgestellt werden. Diese wurden möglicherweise während der Eisen- und Römischen Kaiserzeit abgebaut, oder das Erz wurde für die Verhüttung aus dem weiteren Umfeld herbeigebracht. Die Umstände deuten darauf hin, dass es sich vermutlich nur um einen kurzzeitigen Betrieb (Versuch) gehandelt hat. Prinzipiell waren in den Feuchtgebieten des Talrandes die Bedingungen für das Ausfällen der Eisenverbindungen im sauren Milieu der Moore durch Redoxvorgänge im Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels gegeben.
Im Verlauf der Grabungen wurde Wiesenkalk in einer etwas größeren kompakten Linse nur an einer Stelle in dem vom Grabungsfeld TF 1 angeschnittenen Rand des Wuhletals in einer Teufe von etwa 1 m unter Geländeoberfläche angetroffen (Schirmer, Leiter des Ausgrabungsteams, mdl. Mitt.). Möglicherweise handelt es sich hierbei um ein Materialdepot mit Kalk aus der Wuhle-Niederung. Aus der Umgebung sind weitere Vorkommen bekannt, z. B. im Bereich des Biesdorfer Baggersees, wo die Kalkvorkommen bereits wenige Dezimeter unter der Rasensohle anstehen. Es handelt sich allgemein um grauweiße Mergellinsen oder -nester, die am Boden ehemaliger Flachgewässer ausgefällt wurden.

5. Abriss der prähistorischen Landschaftsgeschichte

5.1 Zeitraum Pleniglazial bis Ende Spätglazial

Im Bereich der Frankfurter Eisrandlage trennte sich an der Wende vom Brandenburger zum Pommerschen Stadium der Weichsel-Vereisung (ca. 17 000 Jahre v. h.) das nördlich gelegene aktive Inlandeis von den auf dem südlichen Teil der Barnim-Hochfläche zwischen Neuenhagener Mühlenfließ und Panke weit verbreiteten Toteisflächen. Klimatisch bestimmten Permafrost und periglaziale Prozesse die Landschaftsentwicklung.
Im Berliner Urstromtal schwollen zunächst die Wassermassen gewaltig an und erreichten hohe Strömungsgeschwindigkeiten, die im Bereich der archäologischen Grabungsflächen zur starken Seitenerosion am Geschiebemergelhang der Barnimhochfläche führten. Die Erosionsfläche bildete sich schätzungsweise zwischen 10 und 16 m unter der heutigen Geländeoberkante aus. Mit dem Nachlassen der Fließ-

geschwindigkeit des Stroms erfolgte die Sedimentation von mitgeführtem klastischen Material, noch verstärkt durch die seitlich von der Hochfläche zugeführten Schmelzwassersande. In Abhängigkeit von der Transportkraft des Stroms kam über dem grobklastischen Geschiebemergelschutt eine Wechsellagerung von sandigen und kiesigen Sedimenten zur Ablagerung. Gegen Ende des Pleniglazials erfolgte das allmähliche Trockenfallen des Geländes.

Im Umfeld der Grabungsflächen flossen nach dem Trockenfallen des prähistorischen Siedlungsgebietes in der Übergangszeit vom Pleni- zum Spätglazial weiterhin die Schmelzwässer der auf der Barnim-Hochfläche niedertauenden Toteisfelder über dem noch tiefgefrorenen Boden breitflächig ab. Es bildeten sich weit gestreute Schwemmfächer und ein stark verflochtenes, sich ständig veränderndes Rinnensystem, das anfangs noch gelegentlich durch den Urstrom überflutet wurde. Erste Flugsandablagerungen bis hin zu Dünenbildungen überlagerten das Sedimentationsgeschehen.

Mit der zunehmenden Erwärmung und dem damit verbundenen Niedertauen der anfangs noch relativ mächtigen Toteisfelder entwickelte sich aus der lebensfeindlichen Eislandschaft im Spätglazial (ca. 14 000 - 11 600 Jahre v. h.) auch im Urstromtal eine Tundrenlandschaft (STRAHL 2005). Die bereits existierende Wuhlerinne war allerdings anfangs noch tiefgründig – in den Kolken bis 20 m tief – vollständig mit Rinneneis plombiert. Eine Klimaverbesserung zeichnete sich mit den Wärmephasen des Böllings und des Alleröds ab. Die zunächst noch verbliebenen Toteisreste und auch die wahrscheinlich noch dazu gekommenen Niederschläge lieferten weiterhin erhebliche Wassermengen, die mit dem beginnenden oberflächigen Abtauen des Rinneneises jedoch bald talbildend als flaches Gewässer dem Verlauf der Wuhle folgten. Während des Alleröd-Interstadials kam es im Randbereich der Rinne bereits zur Torfbildung (BRANDE 2008). Auch waren weiterhin zeitweise starke Flugsandeinwehungen zu verzeichnen. Untersuchungen auf dem Nordbarnim und im Eberswalder Urstromtal durch SCHLAAK (1993) ergaben eine westliche Hauptwindrichtung, die auch für den 750 m südlich der Grabungsfläche in Richtung E–W verlaufenden Dünenzug angenommen werden kann. Die Jüngere Dryas als letzte Klimaverschlechterung am Ende des Spätglazials ist auch im Wuhletal pollenanalytisch nachgewiesen worden.

Nach den pollenanalytischen Befunden aus dem 2,4 m mächtigen archäologischen Grabungsschnitt von 1999 (BRANDE 2008) im nordwestlichen Randbereich der Wuhlerinne (vgl. Abb. 1, Transekt 2) setzt die Entwicklung im Weichsel-Spätglazial mit dem Stadium eines offenen, jedoch im Randbereich früh verlandenden Gewässers ein. Grobdetritusmudde und überlagernder holzhaltiger, kiefernreicher Torf gehören dem Zeitraum Jüngeres Alleröd bis Beginn Präboreal an. Die allerödzeitliche Laacher See-Tephra ist an dieser Stelle nicht nachgewiesen. Damit ist hier im Randbereich der Rinne der Beginn der limnischen Entwicklung jünger als in den erheblich tieferen benachbarten Kolken des Wuhle-Talsystems. In die Jüngere Dryaszeit gehören die Funde der Ahrensburger Stielspitzen aus dem nahe gelegenen spätglazialen Dünensystem an der Köpenicker Straße. Zwei ^{14}C-Datierungen aus dem Grabungsschnitt bestätigen mit 9 150 – 9 300 und 8 910 – 9 290 cal BC (Kiefernholz im Torf) die pollenanalytisch ermittelte Zuordnung des oberen Teils dieses Schichtpaketes in das Präboreal, also den Beginn des Holozäns.

5.2 Zeitraum Präboreal bis Slawenzeit

Mit Beginn des Holozäns (11 600 Jahre v. h.) setzte sich das Torfwachstum je nach topographischer und hydrologischer Situation mehr oder weniger kontinuierlich fort. Örtlich kommt es zur Ausscheidung von Raseneisenerzen und gelegentlich auch von Wiesenkalk. Im Bereich der Wuhlerinne, insbesondere in den tiefen Kolken, sedimentierten mit dem verstärkten Austauen der Eisplomben mächtige Mudden, die vorwiegend einen hohen Kalkgehalt aufweisen und zonar angereicherte Schalenreste, auch gut erhaltene Schneckengehäuse, enthalten.

Die Hauptphase der Muddesedimentation dürfte in den Kolken bis in das Atlantikum angehalten haben, wie in einer Probe aus dem Kolk am Transekt 1 (Abb. 1) durch Pollenanalyse nachgewiesen wurde (STRAHL 2001). Da der Austauprozeß vermutlich bereits erheblich früher (Grenze Weichsel-Spätglazial/Holozän) abgeschlossen war, ist die bis weit ins Holozän hineinreichende Muddesedimentation vor allem auf die beträchtliche Tiefe der Kolke und deren anhaltende Auffüllung mit limnischen Ablagerungen zurückzuführen (Kompaktion).

Bereits im Boreal kam es im Bereich des Grabungsschnittes am Rand des Wuhletals mit einem tiefschwarzen, sehr stark zersetzten bis amorphen Torf (Humotorf) zu einem Abschluss und Stillstand der Moorbildung mit hochgradiger Pollenzersetzung. Diese Situation hält bis in das Atlantikum an und umfasst somit das gesamte Mesolithikum. In diese Zeit gehört die berühmte Biesdorfer Hirschmaske, die nach dem Fundbericht etwa 700 m weiter südlich in 5,5 m Tiefe aus kalkhaltiger Mudde unter Flachmoortorf des Wuhletals geborgen wurde (Reinbacher 1956). Diese Tatsache unterstreicht, dass der hier untersuchte Grabungsschnitt sich in einer ausgesprochenen Randposition der Bachniederung befindet. Mesolithische Funde erbrachten jedoch auch die neuen Grabungen seit 1999. Zwei ^{14}C-Datierungen ergaben mit 5 630 – 5 770 cal BC ein Alter, das übereinstimmend mit dem moorgeschichtlichen Befund in den älteren Teil des Atlantikums fällt.

Erst in dem zunehmend kühl-feuchteren Großklima des Subboreals setzte sich die Torfbildung fort. Jetzt vergrößerten sich die randlichen Moorpartien durch ein Übergreifen auf den mineralischen Untergrund, typisch für viele Moore der damaligen Zeit im Berlin-Brandenburger Raum und darüber hinaus. Diese Torfschicht gehört dem jüngeren Neolithikum und der Bronzezeit an. Archäologisch ist dieser Zeitraum auf den Grabungsflächen mit Ausnahme der Jüngeren Bronzezeit ohne Siedlungs- bzw. Nutzungsnachweise. Eine ^{14}C-

Datierung weist mit 1 260 – 1 440 cal BC einen Teil der Torfschicht in Übereinstimmung mit der pollenanalytischen Einordnung dem jüngeren Subboreal und damit der Jüngeren Bronzezeit zu.

Das älteste Kolluvium des Profilschnittes, vermutlich ein Ergebnis anthropo-zoogenen Eintrags am flach ausstreichenden Rand der Rinne, gehört nach archäologischem Befund in die Ältere Eisenzeit, eine Phase intensiver Siedlung an Ort und Stelle. Die Pollenspektren aus dieser Schicht bilden den Tatbestand mit einer Zunahme der Offenlandkräuter ab.

Die weitere Torfbildung, von Kolluvien mehrfach unterbrochen, fand ganz überwiegend im Subatlantikum statt. Dabei ist das ältere Subatlantikum (Eisenzeit bis Slawenzeit), das die wesentlichen Siedlungsperioden von Biesdorf umfasst (vor allem die Ältere Eisenzeit und die Römische Kaiserzeit), äußerst geringmächtig entwickelt. Die reichliche Verwendung von Eiche und Erle in dem Kalkbrennofen der jüngeren Römischen Kaiserzeit (Schirmer, mdl. Mitt.) ergab sich aus dem nahe gelegenen Baumbestand an der Wuhle. Eine ^{14}C-Datierung gehört mit 1 030 – 1 210 cal AD bereits in den Übergang vom slawischen zum deutschen Mittelalter. Getreidefelder in der Nähe und örtliche Ausbreitung von Weidengebüsch nach Rodung der Erlen am Rand des Wuhletals bestimmen seit dem deutschen Mittelalter den Pollenniederschlag.

Zusammenfassung

Im Zusammenhang mit der Vorbereitung einer zwölf Hektar großen Fläche für die Errichtung von Wohnsiedlungen wurden im Zeitraum zwischen 1998 und 2008 umfangreiche archäologische Arbeiten im nördlichen Randbereich des Berliner Urstromtals südlich von Berlin-Biesdorf durchgeführt. Die in enger Zusammenarbeit mit dem Archäologenteam geologisch dokumentierten zahlreichen guten Aufschlüsse ermöglichten es, einen regional begrenzten Beitrag zur Rekonstruktion der Landschaftsgeschichte am nördlichen Rand des Berliner Urstromtals seit dem ausgehenden Weichsel-Glazial zu leisten. Für die bevorzugte Besiedlung des Gebiets von der Bronze- bis zur Slawenzeit war die geologische Entwicklung des Raums in der vorangegangenen Zeit von mitbestimmender Bedeutung. Wichtige zusätzliche geologische Erkenntnisse konnten insbesondere für die Bildungsbedingungen der periglazial beeinflussten glazifluviatilen Serien und die Entwicklung des Wuhletals im Weichsel-Spätglazial durch den Nachweis des Alleröds mittels Pollenanalyse gewonnen werden.

Summary

During 1998 – 2008 archaeological excavations have been carried out within a 12 hectar area in the northern margin on the Berlin glacial valley in the south of Berlin-Biesorf. The geological documentation of many well established outcrops provided in close collaboration with archaeologists a reconstruction of the landscape history since terminal phases of the Weichselian glaciation. The geological development revealed the preference for the settlement sites from the Bronze Age to the Slavic Middle Ages. Special attention was paid to the conditions of formation in periglacial and glacifluviatile series and the geological development of the Wuhle valley since the Lateglacial. The local reconstruction was supported by pollen analysis from the Alleröd chronozone onwards.

Danksagung

Unser besonderer Dank gilt in erster Linie dem Archäologenteam mit seinen Leitern Herrn K. Schirmer und Herrn R. Bräunig für die beispielhafte Unterstützung unserer Feldarbeiten. Weiterhin bedanken wir uns bei Herrn J. Thierbach für die Hilfe bei der Benutzung von Archivunterlagen, bei Frau Dr. J. Strahl, Herrn Dr. M. Hannemann, Herrn Dr. W. Bartmann für die kritischen Hinweise und Frau A. Andreae für die redaktionelle Bearbeitung des Manuskripts.

Literatur

Brande, A. (2008): Palynologische Untersuchungen auf den Grabungen Biesdorf, Buch und Burgwall Spandau. - Miscellanea Archaeologica, 4, Berlin (im Druck)

Brose, F. (2000): Die Schlaubetalrinne. - In: Schroeder J. H. & F. Brose (Hrsg.): Führer zur Geologie von Berlin und Brandenburg, Nr. 7: Frankfurt (Oder) – Eisenhüttenstadt, S. 97-101, Berlin

Dietz, C. (1937): Geologische Karte von Preußen mit Erläuterungen 1 : 25 000, Blatt Friedrichsfelde. - Preuß. Geol. Landesanstalt, Berlin

Kaunhowen, F. & C. Dietz (1933): Geologische Karte von Preußen mit Erläuterungen 1 : 25 000, Blatt Köpenick. - Preuß. Geol. Landesanstalt, Berlin

Reinbacher, E. (1956): Eine vorgeschichtliche Hirschmaske aus Berlin-Biesdorf. - Ausgrabungen und Funde **1**, 4, S. 147-151, Berlin

Reinbacher, E. (1957): Zwei Stielspitzen von Berlin-Biesdorf. - Ausgrabungen und Funde **2**, 4, S. 163, Berlin

Schirmer, K. (2005): Die Brunnen der germanischen Siedlung von Berlin-Biesdorf, Habichtshorst. - Miscellanea Archaeologica, 2, S. 96-118, Berlin

Schulz, I. & F. Brose (2005): Die Kersdorfer Rinne. - In: Schroeder, J. H. & F. Brose (Hrsg.): Führer zur Geologie

von Berlin und Brandenburg, Nr. 7, Frankfurt (Oder) – Eisenhüttenstadt, S. 102-108, Berlin

SCHULZ, I. & J. STRAHL (2001): Die Kersdorfer Rinne als Beispiel subglazialer Rinnenbildung im Bereich der Frankfurter Eisrandlage – Ergebnisse geomorphologischer und pollenanalytischer Untersuchungen in Ostbrandenburg. - Z. geol. Wiss., Berlin **29**, 1/2, S. 99-107, Berlin

SCHLAAK, N. (1993): Studie zur Landschaftsgenese im Raum Nordbarnim und Eberswalder Urstromtal. - Berliner Geographische Arbeiten **76**, 145 S., Berlin

STRAHL, J. (2001): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung einer Probe aus dem Aufschluß „Trasse an der Wuhlebrücke“, Biesdorf-Süd, Wuhletal (Land Berlin). - Bericht LBGR vom 20. 08. 2001, 4 S., Kleinmachnow (unveröff.)

STRAHL, J. (2005): Zur Pollenstratigraphie des Weichselspätglazials von Berlin – Brandenburg. - Brandenburg. geowiss. Beitr., **12** 1/2, S. 87-112, Kleinmachnow

Anschrift der Autoren:
Dr. Helmut Knape
Myslowitzer Str. 41
12621 Berlin

Dr. Arthur Brande
Englerallee 14
14195 Berlin

Brandenburg. geowiss. Beitr.	Kleinmachnow, Cottbus	**15** (2008), 1/2	S. 109-118	8 Abb., 6 Tab., 17 Lit.

Gliederung des Periglazials im Bereich der Tertiärscholle von Schiffmühle (Neuenhagener Oderinsel) mit Hilfe mineralogischer Untersuchungen

Classification of periglacial deposits in the range of a glacitectonical pushed tertiary block near Schiffmühle (Neuenhagener Oderinsel) by using of mineral analysis

Kai-Uwe Makowski & Sixten Bussemer

1. Einführung

Der lobenförmig ausgebildete Endmoränenwall auf der Neuenhagener Oderinsel gehört zu den Prototypen der Pommerschen Haupteisrandlage (Berendt et al. 1898, Liedtke 1956/57, Cepek 1960), welche gleichzeitig den Südrand des jüngeren Jungmoränenlandes markiert. Die ursprünglichen geologischen Kartierungen (Schröder 1893, Berendt & Schröder 1899) geben das klassische Modell der glazialen Serie wieder, welches nur durch punktuelle Ausbisse von miozänen Quarzsanden und -kiesen wie im Großaufschluss Schiffmühle (Abb. 1) gestört wird.

An dieser glazitektonisch verursachten Sonderposition setzten Detailuntersuchungen von Bussemer, Gärtner & Schlaak (1993, 1994) an, welche die bisherigen Kartierungen vor allem bezüglich der Bedeutung präweichselzeitlicher Vergletscherungen kritisch diskutierten. In diesem Zusammenhang erfolgte auch eine Neuaufnahme des gesamten Umfeldes der Tertiärscholle mit Hilfe von Rammkernsondierungen und Grabungen (Bussemer, Gärtner & Schlaak 1993, 1994).

Das Hangende dieser Tertiärscholle und ihrer Umgebung wird von Sanddecken sehr verschiedener Mächtigkeiten gebildet, welche dem Spätglazial/Holozän angehören (vgl. Abb. 2). Stellenweise werden diese von Steinsohlen mit deutlichen Windkantern durchzogen (Bussemer, Gärtner & Schlaak 1994). Außerdem fand sich bei mächtiger Ausbildung in Bohrungen der allerödzeitliche Finowboden sensu Schlaak (1993) mit solifluidaler bzw. äolischer

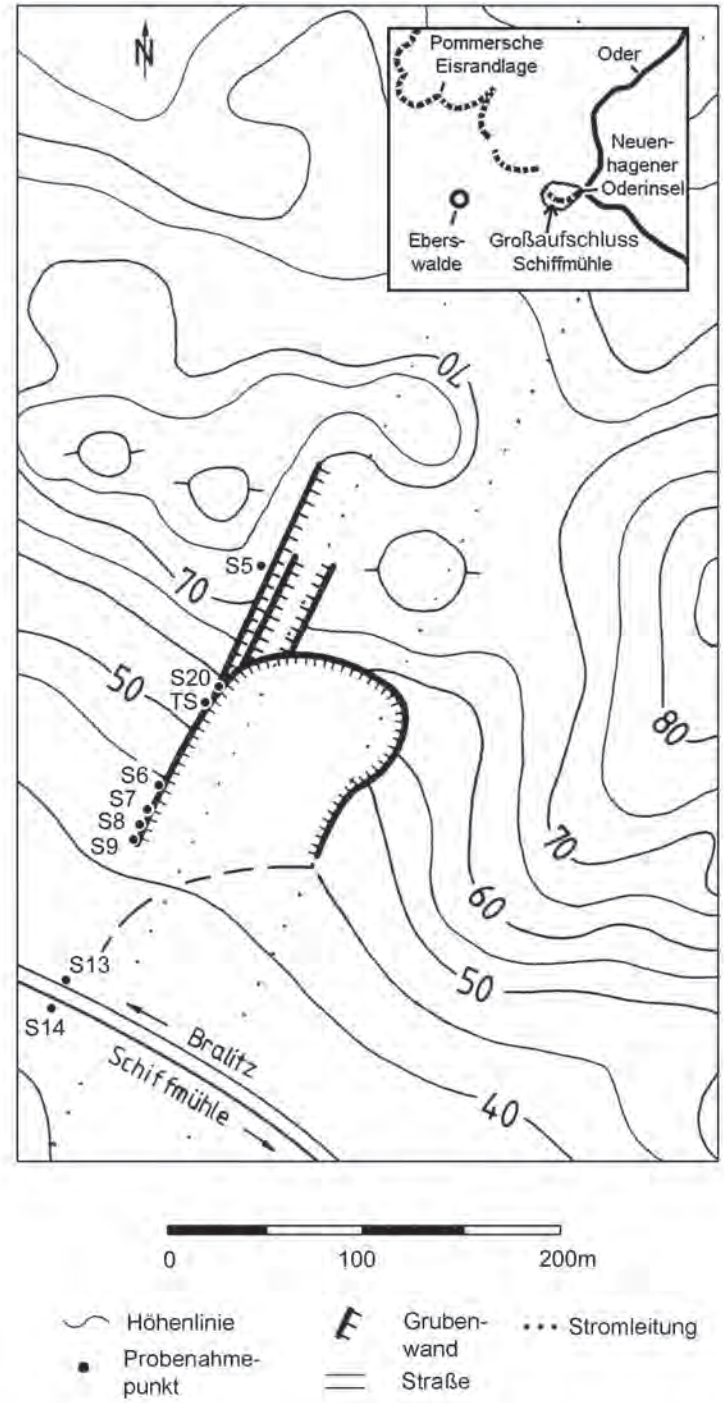


Abb. 1
Lage der Profile des Großaufschlusses Schiffmühle auf der Neuenhagener Oderinsel

Fig. 1
Location of the sections of the outcrop Schiffmühle, part of the Neuenhagener Oderinsel

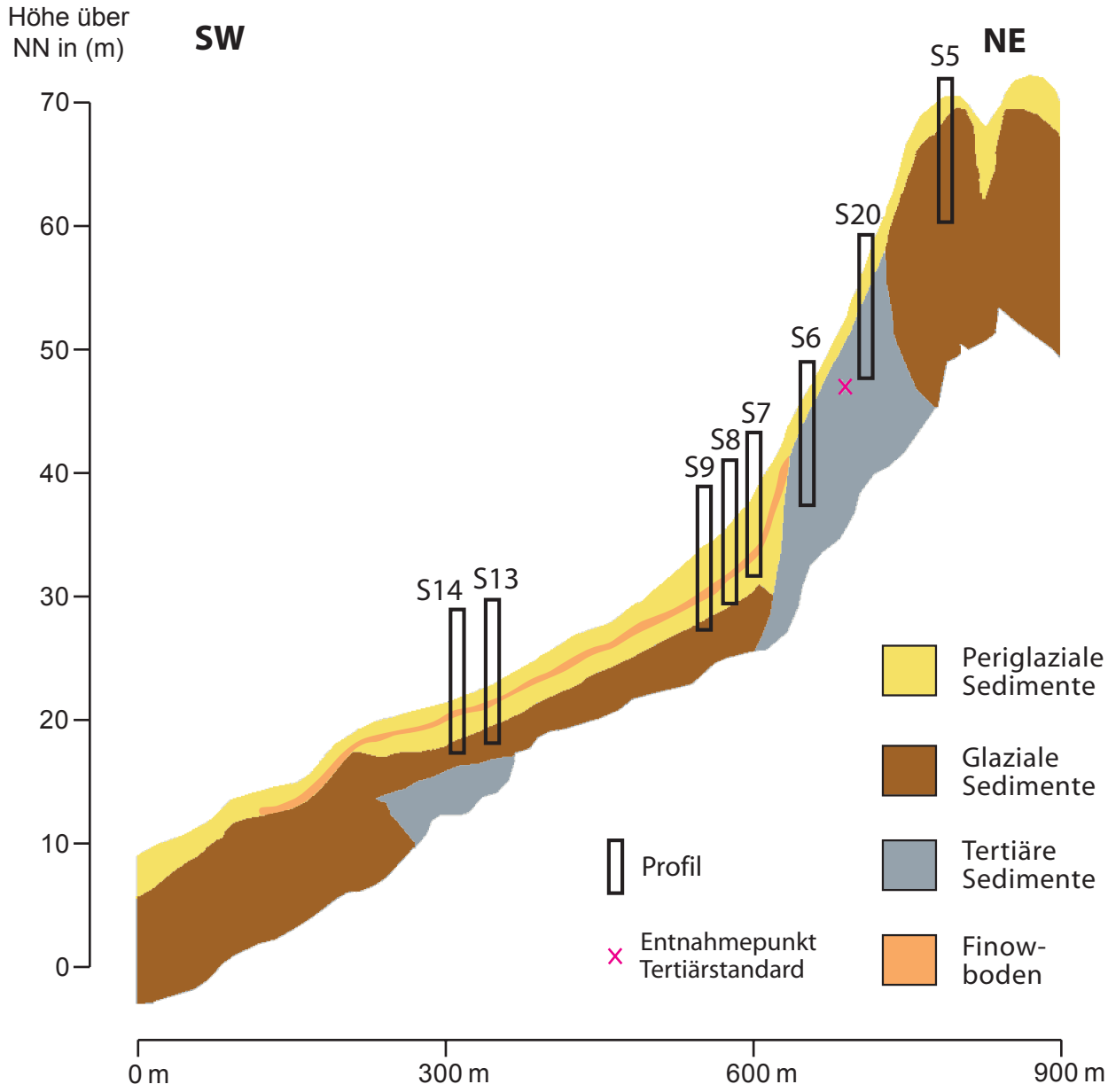


Abb. 2 Schematische Profilzeichnung des Aufschlusses Schiffmühle
Fig. 2 Schematic illustration of the outcrop Schiffmühle

Fazies im Liegenden (vgl. Bussemer, Gärtner & Schlaak 1993), was auch mit Hilfe von Korngrößenanalysen eindeutig belegt werden konnte (Bussemer 2007). Die Gliederung und fazielle Zuordnung der feinen oberflächennahen Sanddecken blieb jedoch weiterhin problematisch, was sich mit den großflächigen Erfahrungen der forstlichen Standortserkundung deckt (Kopp 1969). Hier ist vor allem auf die Schwierigkeiten bei der Diagnose des Geschiebedecksandes bzw. der Deckzone in feinsandigen Pleistozänsedimenten mit Standardmethoden zu verweisen, selbst hochauflösende Korngrößenanalysen und Schwermineralzählungen führen hier gewöhnlich nicht weiter (Bussemer, Marcinek & Thieke 1997). So ergaben Schwermineralzählungen von H. U. Thieke (mdl. Mitt.) im spätglazialen Finowbodenprofil SMÜ2 der Neuenhagener Oderinsel eine sehr einheitliche Tiefenfunktion. Im Großaufschluß Schiffmühle bietet die unterlagernde Tertiärscholle jedoch die seltene Gelegenheit, die in der Pleistozänumgebung mit ihren gelblichen bis braunen Sedimentfarben offensichtlich allochthonen Miozänsande mit ihrer im reinen Zustand weißen bis hellgrauen Färbung als Tracer für reliktische Periglazialumlagerungen zu benutzen. Am Beispiel der oberflächennahen Tertiärscholle von Sternebeck schlussfolgerte Kopp (1965) in einer ähnlichen Geländesituation einen tertiärbürtigen Feinbodenanteil des Geschiebedecksandes in Folge kryogener Perstruktion. Dieser Grundansatz wird nachfolgend mit Hilfe hochauflösender Methoden präzisiert und auf die Catena Schiffmühle projiziert (Abb. 3).

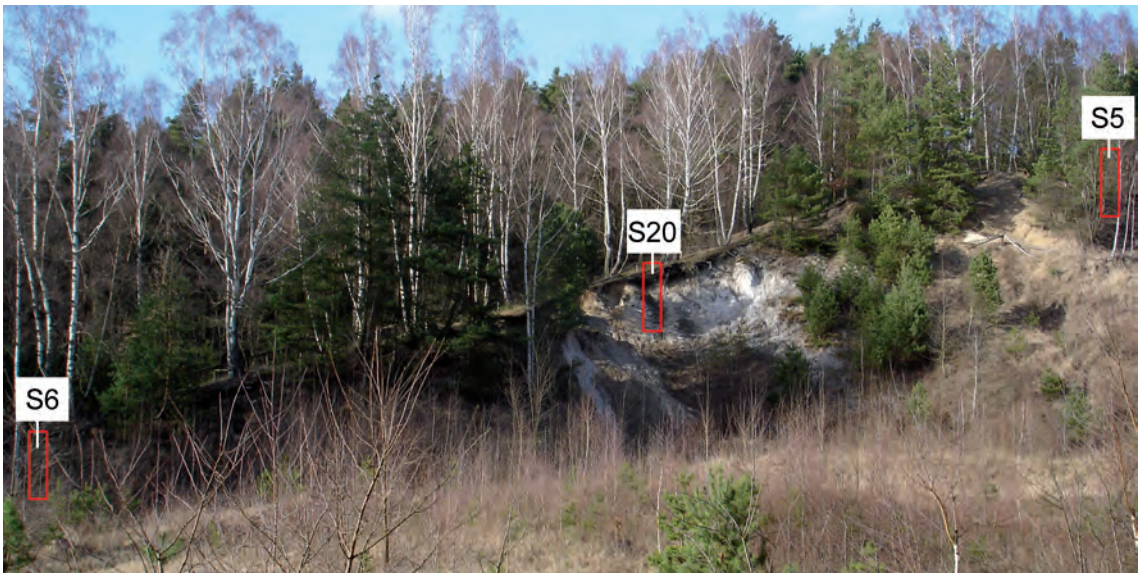


Abb. 3 Übersichtsfoto des Großaufschlusses Schiffmühle mit Lage der Profile S6, S20 und S5
Fig. 3 Overview of the outcrop Schiffmühle with location of the sections S6, S20 and S5

2. Methodik

Neben einer routinemäßigen makroskopischen Boden- und Sedimentaufnahme erfolgte die Korngrößenanalyse nach Köhn (vgl. Barsch et al. 1984).
Vertiefend wurde die im nordostdeutschen Quartär vor allem von Thieke et al. (1975) für stratigraphische Fragestellungen erprobte Schwermineralanalyse herangezogen. Hierfür wurden mittels Schweretrennung unter Verwendung von Tetrabromethan im Scheidetrichter die Schwerminerale der Fraktionen 20-63, 63-100 und 100-200 µm gewonnen und pro Fraktion jeweils 300 durchsichtige Minerale bestimmt und ausgezählt. Nachfolgend werden nur die Feinsandfraktionen diskutiert, da sie mit ihrer Dominanz als wichtigste Kornfraktion gelten können.
Für eine genetische Beurteilung dieser Schwermineralspektren wurde ein graphisches Analyseverfahren entwickelt. Es wurden Diagramme mit den mittleren Schwermineralgehalten der quartären Sedimente auf der linken und den mittleren Schwermineralgehalten der tertiären Sedimente auf der rechten Seite erstellt (vgl. Abb. 6 bis 8). Im zweiten Schritt wurden die Mittelwerte dazu verwendet, Skalen aufzuspannen, die zwischen den Werten für die mittlere quartäre und tertiäre Schwermineralzusammensetzung liegen und darüber auch hinausgehen. Im dritten Schritt wurden die maximalen und minimalen Werte der jeweiligen Schwerminerale vom Mittelwert aus nach links und rechts als farbige Felder abgetragen. Im Resultat erlaubte die Eintragung der Schwermineralgehalte in das Diagramm eine Entscheidung zwischen quartärer, tertiärer oder vermischter Zusammensetzung der jeweiligen Probe.
Für die analytische Erfassung reliktischer periglazialer Verwitterungsprozesse entwickelten Konishchev & Fedorov (1998) den kryogenen Kontrastkoeffizienten (KKK). Basierend auf einem unterschiedlichen Zerfallsverhalten von Quarz und Feldspat wird er als Quotient aus dem Verhältnis von deren Anteilen in der Fraktion 10 bis 50 µm und in der Fraktion 50 bis 100 µm ermittelt. Unterlag das Substrat in nur geringem Maß der Frostverwitterung liegt der Faktor unter eins. Böden, die über lange Zeit intensiver Frostverwitterung ausgesetzt waren können kryogene Kontrasteffizienten bis zu drei oder darüber hinaus erreichen. Die jeweiligen Mineralgehalte der beiden Fraktionen wurden mit Hilfe der quantitativen Röntgenphasenanalyse am Röntgendiffraktometer (URD 63, XRD 3000) im LBGR Kleinmachnow bestimmt (Luckert 2005).

3. Neuaufnahme des Tertiärschollenbereichs im Großaufschluss Schiffmühle

3.1 Aufschluss S5 hangaufwärts der Tertiärscholle (Prototyp Quartär)

Auf der Endmoränenkuppe wird der glaziale Untergrund von einer Blockpackung bestimmt, deren sandige Hangendfolge von einer podsoligen Braunerde abgeschlossen wird (vgl. Profil 5 in Bussemer, Gärtner & Schlaak 1994). Nordische Geschiebe markieren bei einem knappen halben Meter eine lose Steingirlande, welche teilweise Windschliff aufweist (Abb. 4). Im völlig entkalkten Profil setzt unterhalb von 60 cm Tiefe eine schwache Bänderung ein, welche bei 100 cm in eine deutliche Schichtung übergeht. Insofern entspricht das Profil makroskopisch einer typischen periglazialen Deckserie auf sandigem Ausgangssubstrat. Die windkanterhaltige Steinsohle bildet dabei die Basis des Geschiebedecksandes (Deckzone), während die darunter anschließende periglaziale Übergangszone dann kontinuierlich in die geschichteten Schmelzwassersande übergeht.

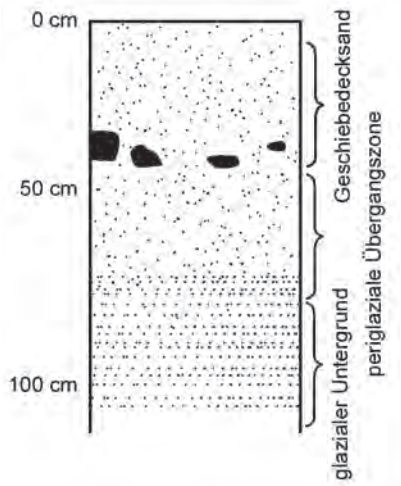


Abb. 4 Profilzeichnung Aufschluss S5

Fig. 4 Schematic illustration of outcrop S5

Die von Fein- und Mittelsanden dominierte Kornverteilung ist über die gesamte Profiltiefe recht homogen ausgebildet (vgl. Tab. 1).

Ähnlich homogen verhält sich die vertikale Verteilung der Schwerminerale. Typisch sind dabei die hohen Gehalte an grüner Hornblende und Epidot und die niedrigen Gehalte an Disthen, Staurolith und an opaken Mineralen (Tab. 2), welche im Weiteren als kennzeichnend für die quartäre Schwermineralzusammensetzung der Feinsandfraktion angesehen werden können.

Exemplarische Messungen des kryogenen Kontrastkoeffizienten wurden am Geschiebedecksand (S5P5) sowie der periglazialen Übergangszone (S5P4) durchgeführt. Die Werte liegen bei 0,64, bzw. 0,84 und zeigen damit jeweils nur einen geringen Einfluss von Frostverwitterung an.

Tab. 1 Korngrößenverteilung der quartären Sedimente

Tab. 1 Grain size distribution of the quaternary sediments

Proben- Nr. / Tiefe	T	fU	mU	gU	fS	mS	gS
S5P7 / 5 cm	2,6	1,6	2,7	1,5	34,9	51,8	4,9
S5P6 / 15 cm	2,6	1,6	2,3	1,2	41,5	49,7	1,2
S5P5 / 35 cm	2,9	0,7	1,2	1,1	39,4	53,3	1,4
S5P4 / 50 cm	1,8	1,0	0,9	0,5	31,0	63,1	1,7
S5P3 / 60 cm	1,5	0,6	0,7	0,6	32,9	62,6	1,1
S5P2 / 75 cm	1,5	0,4	0,9	0,6	39,9	56,5	0,3
S5P1 / 100 cm	1,4	0,3	0,5	0,6	42,8	54,2	0,2

Tab. 2
Vertikale Verteilung ausgewählter Schwerminerale der quartären Sedimente
alle Angaben außer opake Minerale in Prozent bezogen auf die Menge der durchsichtigen Schwerminerale; opake Minerale in Prozent bezogen auf alle Schwerminerale

Tab. 2
Vertical distribution of selected heavy minerals of the quaternary sediments
all numbers except opaque minerals in percent relating to the transparent heavy mineral fraction. Opaque Minerals in percent relating to the overall heavy mineral fraction

Proben- Nr.	Orthopyroxen	Klinopyroxen	Braune Hornblende	Grüne Hornblende	Granat	Epidot	Disthen	Staurolith	Sillimanit	Turmalin	Rutil	Zirkon	Sonstige Minerale	Opake Minerale
S5P7	1	4	2	26	27	15	1	1	1	1	6	13	3	32
S5P6	1	3	4	27	23	14	1	1	0	2	4	16	2	32
S5P5	0	2	4	24	25	20	0	1	0	2	5	13	4	33
S5P4	0	1	2	25	30	16	0	3	0	1	5	12	2	41
S5P3	1	1	2	38	20	19	1	1	0	1	4	8	4	32
S5P2	0	3	5	23	29	18	1	2	1	1	6	9	3	34
S5P1	1	4	3	29	29	12	1	1	1	2	5	11	4	36
Mittelwert Quartär	1	3	3	27	26	16	1	1	1	1	5	12	3	34

3.2 Standardproben der pliozänen Quarzsande (Prototyp Tertiär)

Die tertiären Standardproben wurden im Kernbereich der Scholle (4 m Tiefe) aus der Profilwand entnommen. Mit ihren typischen weißen bis hellgrauen Quarzsanden des Pliozäns unterscheiden sie sich von dem oben beschriebenen quartären Probensatz nicht nur durch ihre deutlich hellere Farbe, sondern auch durch ihre Korngrößenverteilung und ihre Schwermineralzusammensetzung. Sowohl bei den quartären als auch bei den tertiären Sedimenten handelt es sich um Mittelsande, die aber im Fall des Quartärs stark feinsandig, im Fall des Tertiärs stark grobsandig ausgebildet sind (Tab. 3). Die Schwermineralverteilung der Tertiärproben unterscheidet sich von den quartären am deutlichsten Anteil opaker Minerale, er liegt zwischen 70 und 74 % der gesamten Schwermineralfraktion im Gegensatz zu einem Anteil von 32 bis 41% bei den quartären Schwermineralen. Allerdings wurden in randlichen Bereichen der Scholle mit makroskopisch sicherem Tertiärvorkommen bei Einzelmineralen (Disthen und Staurolith) auch Abweichungen vom oben beschriebenen Prototyp gefunden (vgl. Profil S6).

3.3 Profil S 20 im hangaufwärtigen Bereich der Tertiärscholle

Die kalkfreie Braunerde von Aufschluss S20 wurde im oberen Bereich der anstehenden Tertiärscholle freigelegt. An der Basis des braunen Verwitterungshorizontes steht eine

Tab. 3 Korngrößenverteilung der tertiären Sedimente

Tab. 3 Grain size distribution of the tertiary sediments

Probe	T	fU	mU	gU	fS	mS	gS
S2P10	0,0	0,4	0,8	1,2	7,8	68,9	21,4
S2P11	0,5	0,2	1,1	0,9	5,8	70,0	21,5
S2P16	0,0	0,3	0,5	0,7	4,4	69,8	24,3

Tab. 4
Vertikale Verteilung ausgewählter Schwerminerale der tertiären Sedimente
alle Angaben außer opake Minerale in Prozent bezogen auf die Menge der durchsichtigen Schwerminerale; opake Minerale in Prozent bezogen auf alle Schwerminerale.

Tab. 4
Vertical distribution of selected heavy minerals of the quaternary sediments
all numbers except opaque minerals in percent relating to the transparent heavy mineral fraction; opaque Minerals in percent relating to the overall heavy mineral fraction

Proben- Nr.	Orthopyroxen	Klinopyroxen	Braune Hornblende	Grüne Hornblende	Granat	Epidot	Disthen	Staurolith	Sillimanit	Turmalin	Rutil	Zirkon	Sonstige Minerale	Opake Minerale
S2P16	5	0	1	2	25	1	23	7	4	1	11	19	2	70
S2P17	6	0	1	1	33	0	19	8	4	1	10	16	1	74
S2P10	5	1	1	1	26	1	18	9	2	1	12	19	4	70
S2P11	7	0	1	3	22	1	19	9	4	2	11	18	1	71
Mittelwert Tertiär	6	0	1	2	26	1	20	8	4	1	11	18	2	71

in der Anzahl opaker Minerale und dem Gehalt an grüner Hornblende, Disthen, Epidot und Staurolith (Tab. 4). Ein niedriger Gehalt an grüner Hornblende und Epidot, sowie hohe Gehalte an Disthen und Staurolith werden im Verlauf der weiteren Untersuchungen als kennzeichnend für die tertiäre Schwermineralfraktion der Feinsandfraktion angesehen. Ebenso charakteristisch für das Tertiär ist der hohe Steinsohle aus zum Teil sehr großen nordischen Geschieben an (Abb. 5). Darunter setzt makroskopisch ein kontinuierlicher Übergang zu den typischen hellgrau-weißlichen Tertiärsanden ein. Der Geschiebedecksand oberhalb der Steinsohle weist eine relativ homogene Korngrößenverteilung auf (Tab. 5), während unterhalb dieser Grenze die Mittel- und Grobsandgehalte deutlich ansteigen.

Abb. 5 Foto von Aufschluss S20
Fig. 5 Photo of outcrop S20

Aufgrund ihrer Einordnung ins Schwermineraldiagramm (Abb. 6) stellen nicht einmal die hangenden Proben S20P1 (35 cm) und S20P2 (55 cm) rein quartäre Proben dar, da die Parameter im oberen Teil des Schwermineraldiagramms nicht mehr im quartären Wertebereich liegen. Es handelt sich bei den Proben S20 P1 (35 cm), P2 (55 cm), P3 (75 cm) und P4 (105 cm) um quartäre Sedimente mit zunächst geringer, zum Liegenden hin aber zunehmender tertiärer Beeinflussung. Die Proben S20P5 (125 cm) und S20P6 (150 cm) direkt im Liegenden der Steinsohle sind Mischsedimente mit zunehmender Affinität zur tertiären Schwermineralzusammensetzung. Zwischen diesen beiden Proben öffnet sich im Schwermineraldiagramm eine vergleichsweise große Lücke. Erst die Proben S20P7 (180 cm) und S20P8 (200 cm) an der Basis des Profils liegen mit der Mehrzahl ihrer Parameter im Wertebereich der tertiären Schwermineralzusammensetzung. Der geringe Anteil opaker Minerale verweist auf eine an dieser Stelle vom Tertiärstandard abweichende Zusammensetzung der Tertiärschollensande.

3.4 Profil S 6 im hangabwärtigen Bereich der Tertiärscholle

Die podsolierte Braunerde von Aufschluss S6 ist völlig kalkfrei ausgebildet, wobei die für periglaziale Deckserien typische Anreicherung nordischer Geschiebe bei 40 bis 50 cm Tiefe ein weitgehend skelettfreies Profil makroskopisch gliedert. Darüber sind vereinzelt Kiese enthalten, während im unteren Abschnitt einzelne Rostbänder auffallen. Die

Probennr. / Tiefe	T	fU	mU	gU	fS	mS	gS
S20P1 / 35 cm	1,1	0,0	0,5	0,2	27,3	68,1	2,6
S20P2 / 55 cm	1,3	0,5	1,2	0,5	32,9	57,3	6,0
S20P3 / 75 cm	0,8	0,8	0,2	2,0	30,0	58,7	7,3
S20P4 / 105 cm	1,8	1,1	1,7	1,3	28,2	56,5	8,9
S20P5 / 125 cm	1,7	0,7	0,8	0,6	17,1	67,5	11,4
S20P6 / 150 cm	0,7	0,3	0,9	0,6	9,9	75,4	12,2
S20P7 / 180 cm	0,5	0,4	0,7	0,6	8,7	77,9	11,2
S20P8 / 200 cm	0,8	0,5	0,6	0,4	8,3	78,2	11,2

Tab. 5
Korngrößenverteilung am Aufschluss S20
Tab. 5
Grain size distribution of outcrop S20

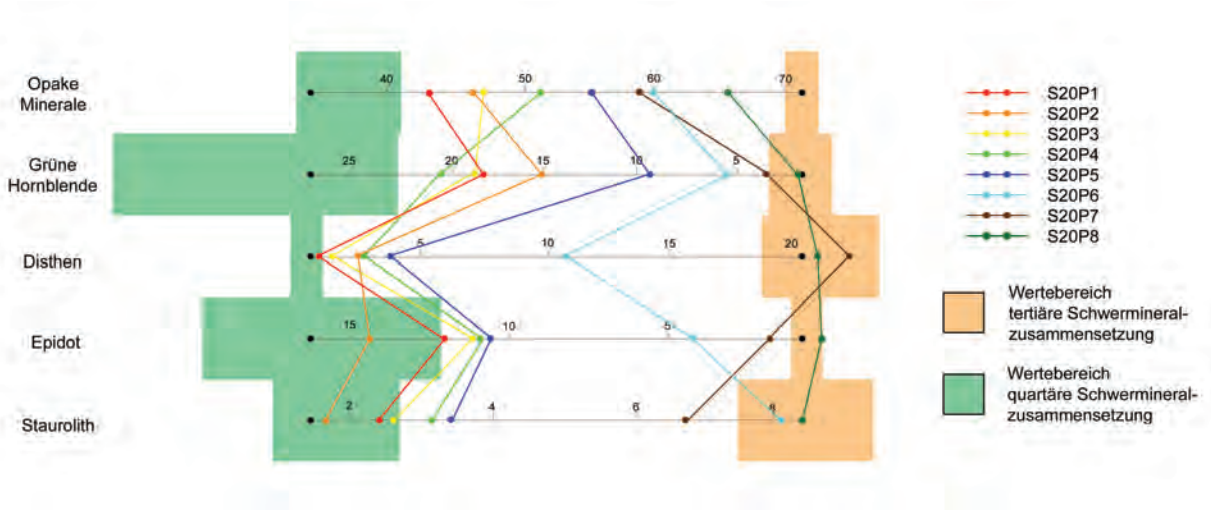


Abb. 6
Schwermineraldiagramm für die Sedimente des Aufschlusses S20
alle Angaben außer opaken Mineralen in Prozent bezogen auf die Menge der durchsichtigen Schwerminerale; Angabe der opaken Minerale in Prozent bezogen auf alle Schwerminerale.

Fig. 6
Heavy mineral diagram for the deposits of outcrop S20
all numbers except opaque minerals in percent relating to the transparent heavy mineral fraction; opaque Minerals in percent relating to the overall heavy mineral fraction.

Tab. 6 Korngrößenverteilung am Aufschluss S6
Tab. 6 Grain size distribution of outcrop S6

Probennr. / Tiefe	T	fU	mU	gU	fS	mS	gS
S6P1 / 15 cm	0,8	0,9	0,6	2,0	35,6	56,2	3,6
S6P2 / 25 cm	1,2	0,3	1,0	1,6	37,5	51,9	6,2
S6P3 / 35 cm	1,0	0,3	0,5	0,8	40,3	52,7	4,3
S6P4 / 50 cm	0,6	1,0	1,4	2,6	55,4	34,4	4,5
S6P5 / 70 cm	1,2	0,3	2,2	0,1	93,3	2,8	0,0
S6P6 / 300 cm	3,9	1,0	1,5	1,5	76,9	14,3	0,8

Körnung ist im mittelsanddominierten Geschiebedecksand vergleichbar mit dem vorangehend beschriebenen Profil S20, weist darunter aber einen kontinuierlichen Wechsel zu einem feinsanddominierten Liegenden auf (Tab. 6).
Von den am Aufschluss S6 entnommenen 6 Proben können die hangenden Proben S6P1 (15 cm) und S6P2 (25 cm) aufgrund ihrer Einordnung im Schwermineraldiagramm (Abb. 7) eindeutig als quartäre Sedimente identifiziert werden. Von 30 bis 70 cm Tiefe liegen Mischsedimente vor. Die Proben S6P3 (35 cm) und S6P4 (50 cm) sind quartäre Sedimente mit tertiärem Einfluss, die Probe S6P5 (70 cm) ist ein Mischsediment mit etwa gleichen quartären und tertiären Anteilen. Die in 3 m Tiefe entnommene Tertiärprobe S6P6 weicht dann vor allem in ihren Disthen- und Staurolithgehalten vom oben beschriebenen Prototyp ab.

3.5 Profile am Unterhang des Endmoränenwalls von Schiffmühle

Um das Ausmaß des lateralen Transportes abzuschätzen, wurden vom unteren Tertiärschollen-Aufschluss S6 aus dem hangabwärts gelegenen Bereich der mächtigen quartären Sanddecken die drei weiteren Profile S7, S8 und S9 analysiert. Die schwermineralogisch untersuchten Proben aus dem Tiefenbereich des Geschiebedecksandes besitzen

eher quartären Charakter. Ausschläge zur tertiären Zusammensetzung hin zeigt vor allem Epidot, in sehr geringem Maß auch grüne Hornblende und Disthen. Diese geringen Abweichungen sind am deutlichsten bei der tertiärschollennahen Probe aus Profil S7 ausgeprägt (vgl. Abb. 8). Die Proben S13 und S14 aus den tertiärschollenfernen Profilen zeigen im Schwermineraldiagramm hingegen keinen tertiären Einfluss mehr an.

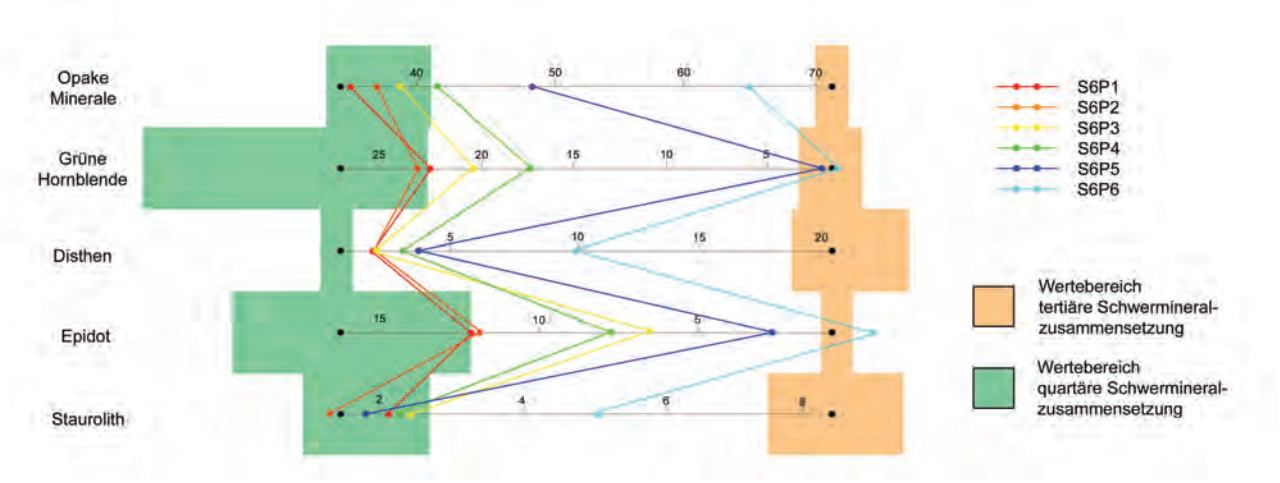


Abb. 7
Schwermineraldiagramm für die Sedimente des Aufschlusses S6
alle Angaben außer opaken Mineralen in Prozent bezogen auf die Menge der durchsichtigen Schwerminerale; Angabe der opaken Minerale in Prozent bezogen auf alle Schwerminerale.

Fig. 7
Heavy mineral diagram for the deposits of outcrop S6
all numbers except opaque minerals in percent relating to the transparent heavy mineral fraction; opaque Minerals in percent relating to the overall heavy mineral fraction.

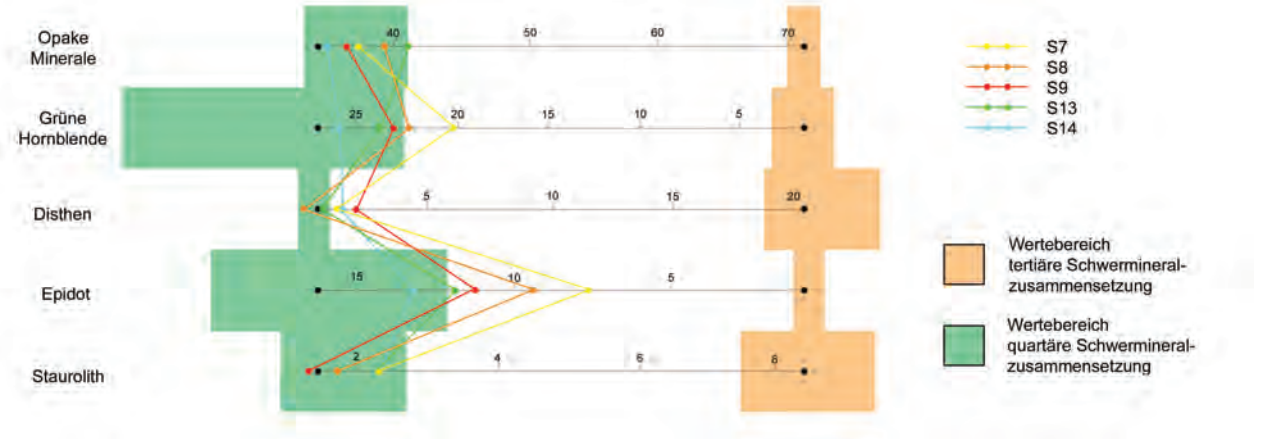


Abb. 8
Schwermineraldiagramm für die Sedimente der Aufschlüsse S7, S8, S9, S13 und S14
Die Proben wurden jeweils der Tiefenlage des Geschiebedecksandes entnommen.
alle Angaben außer opaken Mineralen in Prozent bezogen auf die Menge der durchsichtigen Schwerminerale; Angabe der opaken Minerale in Prozent bezogen auf alle Schwerminerale

Fig. 8
Heavy mineral diagram for the deposits of the outcrops S7, S8, S9, S13 and S14
The samples were taken from the depth of the cover-beds.
all numbers except opaque minerals in percent relating to the transparent heavy mineral fraction; opaque Minerals in percent relating to the overall heavy mineral fraction.

4. Diskussion

Die methodisch vertiefte Neuuntersuchung der oberflächennahen Sanddecken im Großaufschluss Schiffmühle ermöglicht ihre sichere vertikale und horizontale Gliederung mit Hilfe von Schwermineralzählungen. Profilbereiche mit periglazialer Durchmischung der ursprünglichen tertiären oder quartären Sedimente können auf dieser Grundlage weiter untergliedert werden, wobei sich eine gute Korrelation der Ergebnisse aus routinemäßiger Texturanalyse und vertiefter Schwermineralzählung ergibt.
Während das hangaufwärts der Tertiärscholle gelegene Profil 5 völlig homogen ist, weisen sowohl die Hangendserien der Scholle als auch das erste hangabwärts folgende Profil im Schwermineraldiagramm unterschiedliche Tertiärgehalte auf. Im oberen Abschnitt der beiden Tertiärschollenprofile S6 und S20 verhält sich die Tiefenfunktion der Korngrößen- und der Schwermineralverteilung jeweils konstant, was offenbar die Vertikalerstreckung des Geschiebedecksandes bzw. der Deckzone im engeren Sinne anzeigt. Aus mineralogischer Sicht besteht diese in Profil S6 aus rein quartärer Grundmasse gegenüber einem Mischsubstrat in Profil S20. Insofern ist im Gegensatz zu den Befunden von Kopp (1965) nicht nur die Steinsohle, sondern auch die Matrix des Geschiebedecksandes gegenüber der Tertiärscholle als allochthon einzustufen. Bei den Übergangszonen handelt es sich jeweils um Mischsubstrate aus quartärem und tertiärem Ausgangssubstrat, welche von ihrer Schwermineralzusammensetzung her ähnlich zusammengesetzt sind. Diese gehen dann in den reinen pliozänen Quarzsand mit seiner schräggestellten feinsand- bis mittelsanddominierten Wechselschichtung als periglazial unbeeinflußter Untergrund über.
Auch bei fehlender Steinsohle (Beispiel S6) lässt sich schwermineralogisch neben dem Geschiebedecksand eine zwischengeschaltete Übergangszone ausweisen. Der als Prototyp eines skelettfreien Sandprofils im Sinne von Kopp (1965) ausgebildete Aufschluss S6 weist somit trotz der fehlenden Steingirlande eine klare Dreiteilung in einen Geschiebedecksand mit quartärer Matrix, eine durchmischte periglaziäre Übergangszone und das tertiäre Liegende auf.
Die dokumentierten Befunde weisen somit auf intensive laterale Hangprozesse im Zuge der periglazialen Überprägung der Tertiärscholle hin. Sowohl die teilweise reine Quartärmatrix im Hangenden der miozänen Quarzsande als auch die Tertiärkomponenten in den hangabwärtigen Geschiebedecksanden verweisen eindeutig darauf. Die Transportentfernungen im Verlauf der Geschiebedecksandbildung beschränken sich jedoch auf Meter bis wenige Dekameter (parautochthoner Geschiebedecksandcharakter nach Bussemer (2002). Periglazial-äolische Verlagerungen erscheinen aufgrund des tertiär unbeeinflussten Kuppenprofils S5 eher unwahrscheinlich. Die verschieden mächtigen Deckserien im Bereich der Tertiärscholle deuten gleichzeitig die periglaziale Nivellierung eines vorher noch stärker kleingekammerten Reliefs an. Der Tiefenbereich des Geschiebedecksandes wurde offensichtlich anschließend durch kryogene Perstruktion homogenisiert. Diese Beobachtungen entsprechen weitgehend dem Modell von Bussemer (2002) zur Deckseriengenese im norddeutschen Jungmoränenland.

Zusammenfassung

Für die vertikale und horizontale Gliederung von sandigen Periglazialserien mit Hilfe von Schwermineralanalysen wurde ein eigenes Schwermineraldiagramm entwickelt. Die Tertiärsedimente im Endmoränenwall von Schiffmühle können so als Tracer für dessen periglaziale Überprägung herangezogen werden. Ein dreiteiliger Deckserienaufbau mit deutlichem Schichtcharakter stellt regelhaft das Vertikalprofil dar. Bei der Genese dominierten laterale hangabwärtige Verlagerungsprozesse gegenüber der kryogenen Perstruktion, was durch die exemplarische Bestimmung des kryogenen Kontrastkoeffizienten bestätigt wurde.

Summary

On the basis of heavy-mineral analyses a distinct mix diagram was designed for the vertical and horizontal stratification of sandy periglacial cover-beds. The tertiary deposits of the terminal moraine near Schiffmühle can be used as a tracer for the relic periglacial development. The resulting cover-beds show a defined three part vertical layer structure. During the formation of the cover-beds lateral downhill transport processes were dominant compared with the cryogenic mixture, the marginal influence of frost weathering could be verified by the cryogenic weathering index.

Danksagung

Unser Dank gilt den Herren Dr. H. U. Thieke und Dipl.-Geol. J. Luckert (beide LBGR Kleinmachnow) für ihre Unterstützung sowohl im analytischen Bereich als auch bei der Manuskriptkorrektur.

Literatur

Barsch, H., Billwitz, K. & E. Scholz, (1984): Labormethoden in der Physischen Geographie. - 160 S., Gotha

Berendt, G., Keilhack, K., Schroeder, H. & F. Wahnschaffe (1898): Neuere Forschungen auf dem Gebiet der Glacialgeologie in Norddeutschland erläutert an einigen Beispielen. - Jahrb. d Königl. Preuss. geol. Landesanstalt und Bergakademie **XVIII** [1897], S. 42-129, Berlin

Berendt, G. & H. Schröder (1899): Geologische Specialkarte von Preussen und den Thüringischen Staaten. Blatt Oderberg, Berlin

Bussemer, S. (2002): Periglaziale Deckserien in den Jungmoränengebieten Eurasiens – landschaftsgeneti-

sche und geoökologische Bedeutung. - Terra Nostra, 6, S. 74-79, Berlin

BUSSEMER, S. (2007): Braunerden in subborealen und borealen Waldlandschaften (Fallstudien aus den Jungmoränengebieten Eurasiens). - Münchener Geogr. Abh. **A58**, 244 S., München

BUSSEMER, S., GÄRTNER, P. & N. SCHLAAK (1993): Neue Erkenntnisse zur Beziehung von Relief und geologischem Bau der südlichen baltischen Endmoräne nach Untersuchungen auf der Neuenhagener Oderinsel. - Petermanns Geogr. Mitt. **137**, S. 227-239, Gotha

BUSSEMER, S., GÄRTNER, P. & N. SCHLAAK (1994): Der Großaufschluß von Schiffmühle. - In: J. H. SCHROEDER (Hrsg.): Führer zur Geologie von Berlin und Brandenburg. Nr. 2 (Bad Freienwalde – Parsteiner See), S. 82-92, Berlin

BUSSEMER, S., MARCINEK, J. & H. U. THIEKE (1997): Untersuchung der periglaziären Milieuentwicklung auf Hochflächen des Älteren Jungmoränengebiets Norddeutschlands an periglaziär-äolischen und periglaziär-fluviatilen Sequenzen. - Abschlußbericht an die Deutsche Forschungsgemeinschaft, 97 S., München

CEPEK, A. G. (1960): Eisrandlagen, Interglazial und Präglazial in Brandenburg. - In: Exkursionsführer Brandenburg. - 7. Jahrestagung der Geologischen Gesellschaft der DDR, S. 115-134, Berlin

KONISHCHEV, V. N. & V. M. FEDOROV (1998): Cryolithological Analysis of the Composition of Cenozoic Deposits for Paleocryological Reconstructions. - 199 S., Moskau

KOPP, D. (1965): Die periglaziäre Deckzone (Geschiebedecksand) im nordostdeutschen Tiefland und ihre bodenkundliche Bedeutung. - Ber. geol. Ges. DDR, **10**, S. 739-771, Berlin

KOPP, D. (1969): Ergebnisse der forstlichen Standortserkundung in der Deutschen Demokratischen Republik. - 141 S., Potsdam

LIEDTKE, H. (1956/57): Beiträge zur geomorphologischen Entwicklung des Thorn-Eberswalder Urstromtales zwischen Oder und Havel. - Wiss. Z. d. Humboldt-Universität zu Berlin, Math.-Nat. Reihe **VI**, S. 3-49, Berlin

LUCKERT, J. (2005): Kryogener Frostkoeffizient von Bodenproben im Aufschluss Schiffmühle (Neuenhagener Oderinsel). - Gutachten des LBGR (Archiv-Nr. 1 007618), Kleinmachnow (unveröff.)

SCHLAAK, N. (1993): Studie zur Landschaftsgenese im Raum Nordbarnim und Eberswalder Urstromtal. - Berl. Geogr. Arb. **76,** 145 S., Berlin

SCHRÖDER, H. (1893) Ueber seine Aufnahmen der Blätter Groß-Ziethen, Stolpe, Hohenfinow und Oderberg in den Jahren 1890-92. - Jahrb. d. Königl. Preuss. geol. Landesanstalt und Bergakademie **XIII** [1892], Berlin

Thieke, H. U. (1975): Schwermineralogische Kennzeichnung von fluviatilen spätelster-glazialen bis frühsaaleglazialen Ablagerungen im mittleren Teil der DDR. - Z. geol. Wiss. **3**, S. 1031-1101, Berlin

Anschrift der Autoren:
Dipl.-Geol. Kai-Uwe Makowski,
Prof. Dr. Sixten Bussemer
Institut für Geographie und Geologie
Ernst Moritz Arndt Universität Greifswald
17487 Greifswald

Brandenburg. geowiss. Beitr.	Kleinmachnow, Cottbus	**15** (2008), 1/2	S. 119-129	5 Abb., 3 Tab., 18 Lit.

Bodenkundliche Untersuchungen von sekundären Muddeböden in Brandenburg

Secondary developed gyttja-bearing soils in Brandenburg/Germany

Jana Chmieleski und Jutta Zeitz

1. Mudde als Substrat und Boden: Begriffe und Klassifikationen

Mudde ist der Oberbegriff für in stehenden Gewässern abgelagerte Sedimente. Sie unterscheiden sich von anderen Sedimenten durch ihren Gehalt an primär aus aquatischen Organismen entstandener organischer Substanz. Zugleich bezeichnet Mudde die am Grunde rezenter Gewässer sedimentierten Substrate subhydrischer Böden und, an der Oberfläche vorkommend, Substrate mit sekundärer Pedogenese unter atmosphärischen Bedingungen, als reliktische oder fossile Mudden.

Abb. 1
Karte der Untersuchungsflächen (blau: Kalkmudde, orange: Detritusmudde, gelb: Diatomeenmudde)

Fig. 1
Map of investigation sites (blue: calcareous gyttja, orange: organic gyttja, yellow: diatomous earth)

In der Bodenkundlichen Kartieranleitung (Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005) wird Mudde als Synonym für limnische Sedimente mit einem Anteil an organischer Substanz von mehr als 5 Masse-% nach einem Vorschlag von Hinze et al. (1989) verwendet.

Das niederdeutsche Wort „Mudde“ wurde von C. A. Weber (1907) in die wissenschaftliche Literatur eingeführt; zunächst für alle Süßwassersedimente, später nur für die Süßwassersedimente, die einen deutlich sichtbaren Anteil an organischer Substanz enthielten.

Aus dem Schwedischen wurden die Namen Gyttja und Dy übernommen und finden u. a. bei Grosse-Brauckmann (1961) Verwendung. Zur Unterteilung von Diatomeenmudden mit einem hohen Gehalt an Diatomeen wurde der Begriff Gur verwendet. Kalziumkarbonathaltige Ablagerungen im Liegenden der Torfe von Mooren werden insbesondere in der älteren Literatur als Wiesenkalk und manchmal als Kalkgyttja angesprochen (Passarge 1901).

Massenhaftes Auftreten der Schalenreste von Schnecken und Muscheln, Kalkinkrustierungen verschiedener Algen, wie z. B. Characeenröhrchen sowie biogener silikatischer Komponenten aus Diatomeenschalen lassen eine eindeutige Identifizierung als Mudde zu.

Das weite Farbspektrum reicht von reinweiß bis tiefschwarz, über beige, rötlich, gelblich, olivgrün bis hin zu blau. Die Konsistenz lässt sich in Abhängigkeit vom Wassergehalt bei feldfrischem Zustand als breiig, weich bis fest, elastisch oder plastisch bis bröckelig bezeichnen. Im trockenen Zustand sind Mudden hart und spröde, körnig-locker oder mehlig-staubig.

2. Untersuchungsflächen, Material und Methoden

2.1 Untersuchungsflächen

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden 60 Bodenprofile auf insgesamt 12 Untersuchungsflächen angelegt. Davon befinden sich drei Untersuchungsflächen im Bundesland Brandenburg (siehe Abb. 1), die hier exemplarisch unter besonderer Berücksichtigung des Ziethener Seebruchs vorgestellt werden.

Die Anlage und Beschreibung der Bodenprofile erfolgte in Anlehnung an die Bodenkundliche0 Kartieranleitung (Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005). Zusätzlich wurden durch das Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR) die bezüglich Mudden im Rahmen der bodenkundlichen Landesaufnahme vorhandenen Profil- und Labordaten zur Verfügung gestellt.

Jagow
Die Untersuchungsfläche befindet sich im Rückland der Endmoräne der Ückerstaffel in einer parallel zum Ückerbecken verlaufenden Rinne (Bramer et al. 1991), die in Richtung Süden an das Stromtal (südliche Verlängerung des Ückerbeckens) mit dem Bach „Der Strom“ Anschluss findet. Der Niederungsbereich um die Ortslagen Jagow und Taschenberg bildet dabei ein Teilbecken dieser Rinne. Das Einzugsgebiet wird ackerbaulich genutzt. Die Niederung selbst wurde Anfang der 90er Jahre umgebrochen, gepflügt und es wurde Mais angebaut.

Rhinluch
Das Rhinluch ist ein von Sander- und Moränenflächen umgebenes großes Niederungsgebiet, in dem sich das Thorn-Eberswalder-Urstromtal und das Berliner Urstromtal zum in Richtung Westen verlaufenden Unterelbe-Urstromtal (Bramer et al. 1991) vereinigen. Es handelt sich um ein großes Niedermoorgebiet, das von Talsandinseln und Dünen durchragt wird. Der überwiegende Teil der Moorfläche entspricht dem hydrogenetischen Moortyp Versumpfungsmoor (Succow 1988, Succow et al. 2001), während kleinflächig auch Verlandungsmoore vorkommen, die durch Torf unterlagernde Mudden charakterisiert sind (Zeitz 1993). Mit Beginn des 20. Jahrhunderts wurde das Gebiet entwässert und landwirtschaftlich nutzbar gemacht. Großflächiger Torfabbau fand bis zum Ende des 19. Jahrhunderts statt. Der überwiegende Teil des Rhinluchs wird heute als Grünland genutzt.

Ziethener Seebruch
Das Ziethener Seebruch befindet sich im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin nordöstlich von Berlin 10 km südwestlich von Angermünde. Die flache Senke, deren mineralische Basis vorwiegend aus Ton, Geschiebemergel und sandigen Substraten besteht, weist ein heterogenes Basisrelief auf und hat eine Größe von ca. 170 ha. Die Sedimentabfolge besteht aus einem mehrfachen Wechsel von Mudde und Torf und ist damit Ausweis mehrerer Veränderungen des Seespiegels. Die Moormächtigkeit variiert zwischen 0,3 und 6,4 m. Der See, aus dem das Ziethener Seebruch hervorgegangen ist, war bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts ein flaches verlandendes Gewässer, das über einen Graben abgelassen wurde. Das Ziethener Seebruch wurde flächendeckend gedränt, wobei z. T. ausgesprochen tiefe Gräben und Verrohrungen angelegt wurden und die Fläche durch ein dichtes Grabennetz stark zergliedert wurde. Aufgrund mehrfacher Wasserabsenkungen zum Zwecke landwirtschaftlicher Nutzung sind die oberfächennahen Substrate stark mineralisiert, was zur Eutrophierung des Standortes führte. Ein Teil der Moorfläche wird als Grünland unter extensiver Weidenutzung sowie als Mähweide genutzt. Die zentralen Moorbereiche sind für eine landwirtschaftliche Nutzung zu nass.

2.2 Methoden

Auf Grund der auf einigen Flächen hohen Wasserstände und der geringen Standfestigkeit des Materials mussten die Ausmaße der Profilgruben den jeweiligen Bedingungen angepasst werden. So erreichten einige Profile statt 120 cm nur 100 cm Tiefe. Die Geländeaufnahmen dienten der Identifizierung und Beschreibung von Substraten, Schichtung und Bodenhorizonten sowie der Entnahme von Bodenproben.
In ursprünglichen, nicht entwässerten Mudden, wie sie in Moorbohrungen angetroffen werden, sind die in der Bodenkundlichen Kartieranleitung (Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005) aufgeführten morphologischen Merkmale relativ gut zu erkennen. Es bedarf allerdings einiger Erfahrung in der Ansprache von Sedimenten, da es vielfach Übergänge und Abstufungen zwischen die einzelnen Typen gibt. Torfmudde im Sinne der Definition der Bodenkundlichen Kartieranleitung (Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005, S. 164), d. h. „... Sedimente vorwiegend aus aufgearbeitetem Torf, mit deutlich erkennbaren Torfresten ...“ wurde nicht angetroffen, wohl aber Sedimente aus der Übergangsphase von Stillgewässer zu Moor, also torfhaltige Mudden und muddehaltige Torfe. Dabei erfolgte die Abschätzung der Sediment-Anteile von Torf und Mudde nach visuellen Kriterien und die anschließende Zuordnung zu Substratarten nach Dominanzkriterien. Die Benennung der Muddeart wurde untersetzt durch Merkmale, die unerlässlich für eine detaillierte Beschreibung des Substrates sind und in anderen Klassifikationen z. T. schon in den Bezeichnungen enthalten sind (wie z. B. Grob- und Feindetritus): makroskopisch erkennbare Einzelbestandteile der Mudde, z. B. die Art und Größe der Pflanzenreste sowie deren Humifizierungsgrad, Vorhandensein und Menge von Molluskenschalen und Characeenröhrchen, die Farben von Matrix und Beimengungen, die Konsistenz und Plastizität, Art und Menge von Beimengungen, der Kalkgehalt sowie der Geruch.
Da bei der Geländeaufnahme insbesondere der Humusanteil einige Male schwierig zu bestimmen war, wurden nach Vorliegen der Laborbefunde falsch zugeordnete Substrate reklassifiziert.
Anhand der Profilaufnahmen wurden für jede Untersuchungsfläche mindestens zwei repräsentative Punkte für eine detaillierte Untersuchung von chemischen und physikalischen Parametern ausgewählt. Hier erfolgte zusätzlich

eine Entnahme von ungestörten Proben in Metallstechzylindern mit einem Volumen von 100 cm³ in vertikaler Richtung aus jeweils allen Horizonten.
Eine Pollenanalyse an einem ausgewählten Profil wurde von Frau Dr. J. Strahl (LBGR) mit dem Ziel durchgeführt, anhand der pollenanalytisch belegbaren standorteigenen Vegetation die mittels makroskopischer Merkmale vorgenommenen Substratzuordnungen zu evaluieren.

Für die chemische Analytik wurden die Proben homogenisiert, luftgetrocknet, in der Achatmühle auf eine Korngröße von < 63 µm gemahlen und für die einzelnen Analysen aufgeteilt. In der Tabelle 1 sind die angewandten Verfahren aufgeführt. Die Bestimmung von physikalischen Bodenkennwerten erfolgte überwiegend laborativ. Die gesättigte Wasserleitfähigkeit wurde im Feld gemessen. Die Messung der Saugspannungskurve wurde mit Apparaten der Firma Eijkelkamp durchgeführt. Ab pF 2,0 kam es zu deutlich sichtbaren Schrumpfungen vor allem bei den Mudden mit mehr als 30 Masse-% organischer Bodensubstanz. Die Einteilung der Porengrößenbereiche erfolgt nach dem Äquivalentdurchmesser und der Wasserspannung (hPa, pF) als Grenzwert zur Entwässerung kreiskapillarer Poren. Die Berechnung von Substanz- und Porenvolumen erfolgte unter Verwendung der experimentell ermittelten Reindichten. Die Reindichte erlangt bei der Ermittlung des Substanzvolumens und des Porenvolumens Bedeutung, so dass einer genauen Bestimmung großer Wert beizumessen ist.

Tab. 1 Analysemethoden für die feste Bodensubstanz
Tab. 1 Methods used for analysing bulk soil matter

Parameter	**Messverfahren**
pH-Werte	Bestimmungen nach DIN ISO 10390 mit Reinwasser (pH H_20) und $CaCl_2$ Lösung (pH $CaCl_2$)
Wassergehalt	Trocknung bei 105°C (W105) nach DIN ISO 11465
Glühverlust	Veraschung bei 550°C (GVV550) nach DIN 19684, T3 bzw. bei 1000°C (LOI) (Angaben bezogen auf die bei 105°C getrocknete Probe)
Karbonate	Säureäquivalentmethode nach Scheibler
potenzielle Kationenaustauschkapazität (KAKpot)	nach Mehlich (DIN ISO 19684-8), KAKpot entspricht rückgetauschtem Barium, Bestimmung der Einzelkationen (Na, K, Ca, Mg) sowie des Ba mittels ICP-AES, Bestimmung der H-Ionen maßanalytisch mittels Titrierautomat; Bestimmung nur an Proben mit pH(H_2O) > 5,5
effektive Kationenaustauschkapazität (KAKeff)	nach Ulrich (1990), KAKeff = Summe der Einzelkationen, Bestimmung von Na, K, Ca, Mg, Al, Fe mittels ICP-AES, Bestimmung NH^{4+} maßanalytisch mittels Titrierautomat nach Wasserdampfdestillation; Bemerkung: Bestimmung nur an Proben mit pH(H_2O) < 5,5
TC, TN, TS	Elementaranalyse nach DIN ISO 10694 (trockene Verbrennung bei 1150°C unter O_2-Zufuhr)
Elementgehalte im Königswasseraus-zug	Aufschluss in Anlehnung an DIN ISO 11466, Elementbestimmung mittels ICP-AES (DIN 38406-E22) bzw. GFAA S
Element-Totalgehalte	Bestimmung nach Schmelzaufschluss mittels WDRFA, Proben vorab bei 1000°C geglüht; (SO_3), (F), (CL), (As) = Restkonzentrationen
Fe/Al, aktive Oxide (amorph)	mit oxalsaurem Ammonium-Oxalat n. Schwertmann (1964)
Fe/Al, pedogene Oxide (kristallin)	Extraktion mit Dithionit-Citrat n. Mehra u. Jackson (1969)
Feuchtrohdichte	Wägung der feuchten Probe
Trockenrohdichte	Wägung nach Trocknung bei 105°C
Reindichte	Ermittlung mittels Heliumpyknometer sowie Berechnung aus der Trockenrohdichte
kf-Wert	Gelände-Bohrlochmethode DIN 19682 (vgl. Eggelsmann, 1981)
pF-Wert	DIN 19 683
Gefügeentwicklung	Computertomographie
Einheitswasserzahl	Verfahren nach Ohde

3. Prinzipien der sekundären Pedogenese in Brandenburger Muddeböden

Bei den untersuchten Muddeböden traten eine primäre und eine sekundäre Pedogenese auf. Als primäre Pedogenese bezeichnet man die aquatische Bodenbildung, die mit der Ablagerung der Mudde am Seegrund beginnt. Gelangen die Mudden aufgrund von Seeablassung oder Moorentwässerung und nachfolgendem Torfabbau an die Oberfläche, findet eine sekundäre Pedogenese statt. In beiden Fällen kann das Moor in Anlehnung an die von Succow (1988) dargestellten hydrogenetischen Moortypen als sekundäres anthropogen induziertes Versumpfungsmoor bezeichnet werden.
Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit untersuchte sekundäre Pedogenese von organischen Mudden wird im Folgenden dargestellt:

Mineralisation von Decktorfschichten

Dieser Typ der sekundären Pedogenese tritt z. B. im Rhinluch auf. Bedingt durch ein flaches Relief, wie u. a. in den Urstromtälern, bildeten sich großflächige und flachgründige Moore, die oft dem hydrogenetischen Moortyp der Versumpfungsmoore (SUCCOW 1988) angehören. In Versumpfungsmooren sind häufig Mudden mit geringmächtigen Torfen vergesellschaftet. Gerade diese Flächen unterliegen vielfach einer intensiven landwirtschaftlichen Nutzung, wobei sie für die Urbarmachung melioriert werden mussten. In Folge der mit der Melioration verbundenen Grundwasserabsenkung setzt eine sekundäre Bodenbildung in den Substraten ein. In Abhängigkeit von der Torfmächtigkeit sowie der Entwässerungstiefe sind anfangs vorwiegend die Torfe betroffen. In ihnen bildet sich ein Niedermoorfolgeboden (SCHLEIER & BEHRENDT 2000). Da Torf bei intensiver Belüftung fast vollständig in gasförmige und wasserlösliche Substanzen zerlegt werden kann, kommt es auf diesen Flächen zur Verringerung der Decktorfschichten bis hin zu deren völliger Auflösung (s. Abb. 2). Damit verbunden sind Translokationsprozesse und Auswirkungen der Bodenentwicklung auf die darunter liegenden Mudden. Bei anhaltender Entwässerung unterliegen auch die Mudden pedogenetischen Prozessen und einer den Torfen vergleichbaren Degradierung, da sie in Folge der kontinuierlichen Abnahme der Mächtigkeit der Torfböden unter zunehmenden Lufteinfluss gelangen.

Seeablassung

Dieser Typ wurde im Ziethener Seebruch und in Jagow angetroffen. Seit dem Mittelalter und verstärkt im 19. Jahrhundert wurde der Wasserspiegel in vielen Seen abgesenkt und die Seen vollständig abgelassen. Durch das rasche Absenken des Wasserspiegels wurde der natürliche Prozess der Verlandung abrupt gestoppt und Mudden gelangten direkt an die Geländeoberfläche. Wegen der starken Sackungsbeträge waren die Grundwasserflurabstände weiterhin hoch, so dass Torf- bzw. Anmoorbildung stattfand. Besonders die grabennächsten, am stärksten entwässerten Bereiche, erfuhren dabei hohe Substanzverluste. Schlechter entwässerte Bereiche sackten dagegen weniger stark. Der durch die Entwässerung hervorgerufene Luftzutritt führte zu Mineralisation und anderen bodenbildenden Prozessen.

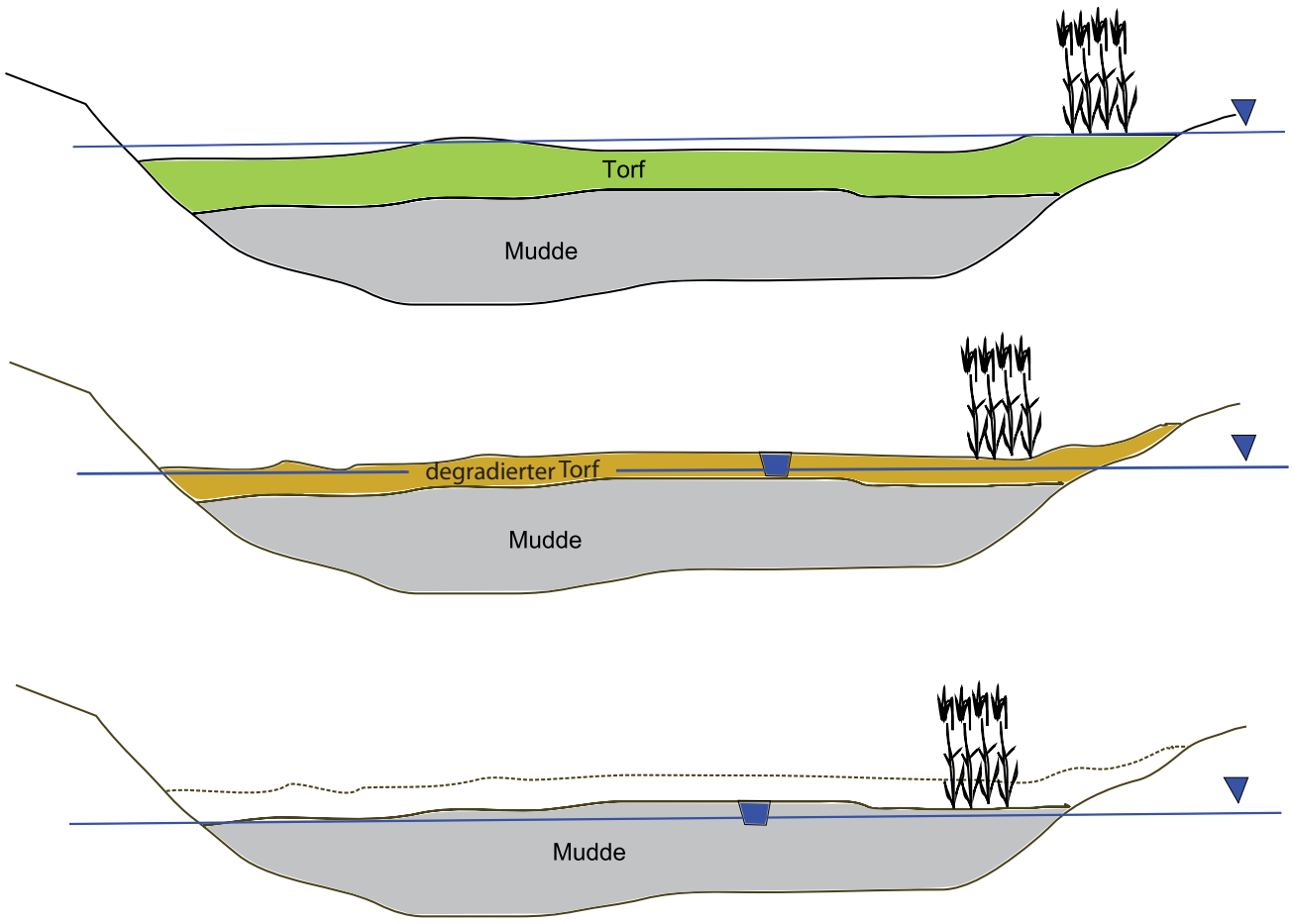


Abb. 2 Schematische Darstellung der Entstehung eines Muddemoores durch Degradation der Decktorfschichten

Fig. 2 Schematic diagram of the development of a so-called gyttja fen as a result of topsoil peat degradation

4. Biostratigraphische Untersuchung der Mudden (Pollenanalyse)

Auf der Untersuchungsfläche des Ziethener Seebruchs (ZIETH) wurde zusätzlich eine Bohrung für eine Pollenanalyse abgeteuft. Die primäre Fragestellung war dabei, ob sich im Profil z. T. nur undeutlich erkennbare Substratwechsel über eine wechselnde Pollenzusammensetzung fassen lassen und daraus limnische und telmatische Phasen ableitbar sind, die mit den Substratwechseln übereinstimmen. Dies kann vor allem aus dem Eintrag von Pollen, Sporen und anderen Mikroresten der standorteigenen Wasser- und Sumpfvegetation abgeleitet werden, die das ökologische Milieu widerspiegelt. Ein weiteres Ziel war die relative zeitliche Einordnung der Substratwechsel.

schen 1, 2 und 3 m auf. In den Profilen zeigt sich ein häufiger Wechsel von limnischen und telmatischen Substraten. Auf Grund des Reliefs kamen Moor-, Verlandungs- und offene Wasserflächen nebeneinander vor (siehe Tab. 2).

Dies spiegelt sich auch in der Zusammensetzung der Pollenspektren hinsichtlich des vielfachen Nebeneinandervorkommens von Vertretern der Sumpf- und der Wasservegetation innerhalb einer Probe wider.

Die darin repräsentierten Schwankungen der Wasserstände wurden durch Veränderungen der hydrologischen Bedingungen hervorgerufen, wie schon für zahlreiche Seen und Moore im Jungmoränenland beschrieben (Rog 1978, 1979, Driescher 1974, Chmieleski 1997 a, b, Kaiser 2001).

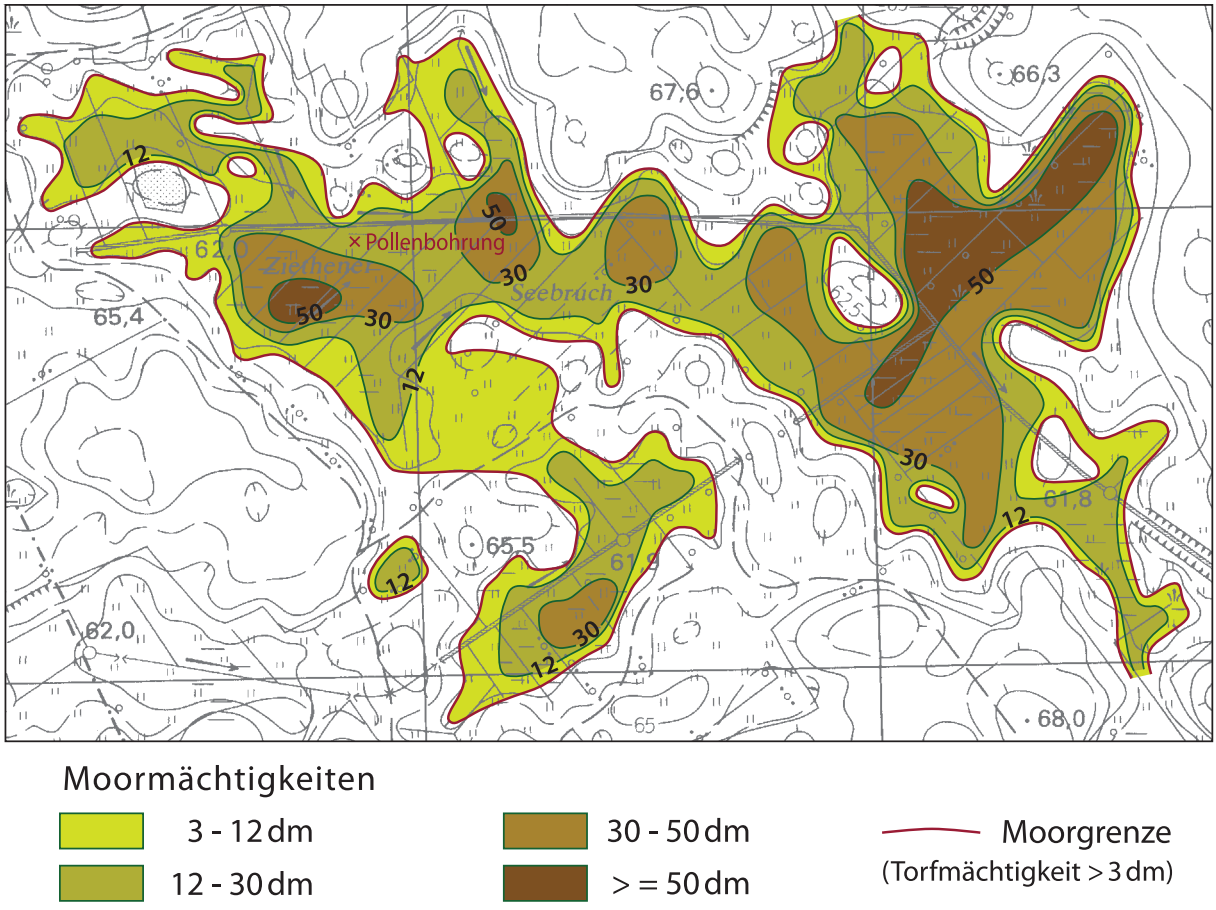


Abb. 3 Karte des Ziethener Seebruchs
Fig. 3 Map of the site Ziethener Seebruch

Das heutige Ziethener Seebruch wird durch fünf Kessel (Abb. 3), die durch aus minerogenen Sedimenten aufgebauten Schwellen voneinander getrennt sind, gebildet. In den Kesseln erreicht die Moormächtigkeit mehr als fünf Meter, während sie auf den Schwellen 1,20 m nicht überschreitet. Die überwiegende Fläche weist Moormächtigkeiten zwi-

Am Bohrpunkt begann die Akkumulation von limnischen Sedimenten in der Jüngeren Dryas (12 700 - 11 600 v. h.) mit der Ablagerung von Feinsand, Schluff- und Tonmudde. Dieser Zeitraum ist gegenüber dem vorhergehenden Alleröd durch eine einschneidende Klimaverschlechterung geprägt, die sich auch in der gegenüber dem Holozän sehr

Tab. 2
Ergebnisse der Pollenanalyse für die Untersuchungsfläche ZIETH bezüglich der standorteigenen Vegetation (aus: STRAHL 2002)

Tab. 2
Results of the palynological analysis of ZIETH concerning the local vegetation (after STRAHL 2002)

Teufe [m]	**Sediment**	**Stratigraphische Einordnung**	**Vegetation am Standort**
2,38–2,05	Feinsand, Schluff- und Tonmudde	Jüngere Dryas	keine nennenswerte Sumpf- und Wasservegetation, sporadisches Vorkommen von Laichkraut (*Potamogeton*), Ährentausendblatt (*Myriophyllum spicatum*), Schachtelhalm (*Equisetum*), Pflanzen der Röhrichte: z. B. Rohr- u./o. Igelkolben (Typha-*Sparganium*-*Typ*), verschiedene Zahnrädchen-Arten (*Pediastrum*): insbesondere das Gekörnelte Zahnrädchen (*P. kawraiskyi)* und das seltenere *P. boryanum* var. *longicorne* auf kühlere Wassertemperaturen hindeutend, Häufung von Macroscleren des Geweihschwammes (*Spongilla* cf. *lacustris*) und seltener auch des Krustenschwammes (*Trochospongilla horrida*), beides Arten stehender und fließender Gewässer, Auftreten von Strudelwürmern (Tubellaria) und Dauereiern der Rotatorie *Filinia hofmannii*
1,99–1,96	Tonmudde	Präboreal	häufige Nachweise von Schwamm-Macroscleren, mit geringeren Werten Warziges Zahnrädchen (*Pediastrum boryanum*)
		Hiatus	
1,95–0,49	Wechsel von faserreicher Detritusmudde und Torf in unterschiedlichen Zersetzungsgraden	Subboreal	ausgeprägtes Nebeneinanderexistieren von Pflanzen der versumpften bzw. vermoorten Bereiche sowie der in das offene Wasser hineinragenden Schwingrasen und Pflanzen der untergetauchten und Schwimmblattvegetation: häufig Macroscleren von Süßwasserschwämmen, vor allem epiphytische Diatomeen (u. a. *Epithemia* sp.) zunehmend, im Verlandungsbereich Hornblatt und Seerosengewächse sowie im Bereich der Röhrichte vereinzelt Rohr- u./o. Igelkolben und Langblättriger Rohrkolben (*Typha latifolia*) erscheinend, später monolete Farne, evtl. in Vergesellschaftung mit Erle (*Alnus*) folgend, mit erneutem lithologischem Wechsel zu Torf Ausbildung einer reich entwickelten untergetauchten Wasser- (Ährentausendblatt, Hornblatt (*Ceratophyllum*)) und Schwimmblattvegetation (Seerose (*Nymphaea*), Teichmummel (*Nuphar*)), Schwammnadeln und Diatomeen dagegen deutlich rückläufig bzw. ganz verschwindend, häufiger Dauereier von *Filinia hofmannii*, Reste von Strudelwürmern, Warzigem Zahnrädchen von Wasserflöhen (Cladocera).
0,50–0,02	Wechsel von Detritusmudde, faserreicher Detritusmudde und Torf in unterschiedlichen Zersetzungsgraden, schwankende Wasserstände bzw. Verzahnung von Wasser- und Sumpfflächen	Älteres Subatlantikum	Vegetation offener Wasserbereiche bzw. der Schlenken (insbesondere Seerosengewächse (Nymphaeaceae), seltener Ährentausendblatt, Hornblatt und Wasserknöterich (*Polygonum amphibium*) sowie Algen (Warziges Zahnrädchen, Jochalgen (Zygnematales, *Spirogyra*), Strudelwürmer und Wasserflohreste zeigen erhöhte Werte und überwiegen gegenüber den Vertretern der Sumpf- (monolete Farne, Sauergräser (Cyperaceae), Schachtelhalm, Fieberklee (*Menyanthes trifoliata*)) und Röhrichtstandorte (Rohr- u./o. Igelkolben), oberste entnommene Probe zeigt deutliche Verarmung der höheren und niederen Wasserflora

armen standorteigenen Vegetation widerspiegelt (Tab. 2). Die entsprechende Pollenprobe wies nur sehr geringe Werte der Sumpf- und Wasservegetation auf. Bis mindestens ins Präboreal (11 600 - 10 600 v. h.) wurden weiterhin mineralische Mudden akkumuliert. In einer in diesen Abschnitt datierten geringmächtigen Tonmudde fanden sich lediglich Macroscleren des Geweihschwammes (*Spongilla* cf. *palustris*) sowie wenige Coenobien des Warzigen Zahnrädchens (*Pediastrum boryanum*).
Die das Subboreal (5 700 - 2 400 v. h.) repräsentierenden Pollenproben weisen eine Verzahnung von telmatischen und aquatischen Lebensräumen aus (Tab. 2). Das Sediment wechselte zwischen faserreicher und feinerer Detritusmudde. Wahrscheinlich entstanden auf Grund der fortgeschrittenen Verlandung ehemaliger Seebereiche bei vergleichbaren Wasserständen größere Areale, die mit Röhricht- und Sumpfpflanzen bestanden waren. Dagegen existierten in den tiefsten Bereichen der Becken Wasserflächen, in denen Pflanzen der untergetauchten und Schwimmblattvegetation siedelten. Es war also durchgehend ein See vorhanden, dessen Wasserstand allerdings schwankte.
Im Älteren Subatlantikum (2 400 - 800 v. h.) setzte die Akkumulation von Detritusmudde ein. Im weiteren Verlauf weist die Sequenz aufgrund von Wasserspiegelschwankungen mehrfache Übergänge zwischen Detritusmudde, faserreicher Detritusmudde (als Übergangsbildung im Flachwasserbereich) und Torf auf. Bei besonders niedrigen Wasserständen waren nur noch die tiefsten Bereiche der Becken des Ziethener Seebruchs mit einem See erfüllt. In den Pollenspektren (Tab. 2) überwiegt zunächst die Vegetation offener Wasserbereiche gegenüber der Flora der Sumpf- und Röhrichtstandorte. Erst im Übergang zum hangenden Torf nehmen die Anzeiger der Wasserflora deutlich ab. Abgeschlossen wird der Sedimentationszyklus durch eine Detritusmuddeschicht, die ab einer Tiefe von 80 cm Beimischungen von Braunmoosen enthält.
Es tritt aber nicht nur ein häufiger Wechsel zwischen See- und Moorphasen auf, sondern auch innerhalb des Moores herrschte eine unterschiedliche Dynamik der Verlandung. So zeigte die Pollenanalyse ein gleichzeitiges Vorkommen von telmatischen und limnischen Organismen. Nahezu über die gesamte Zeit der Entwicklung des Ziethener Seebruchs existierte eine mosaikartige Verteilung von Moor- und Flachwasserbereichen. Erstere traten in den Bereichen mit geringer Beckentiefe auf und letztere in den tiefen Kesseln.
In den als Detritusmudde angesprochenen oberen 70 cm des Profils dominieren Vertreter der Gewässerflora, während Sumpfpflanzen kaum auftreten. Der unter den Sumpfpflanzen neben Sauergräsern (Cyperaceae, Seggenriede) am häufigsten nachgewiesene Schachtelhalm (*Equisetum*) kann auch, wie insbesondere der Rohr- und/oder Igelkolben *(Typha-Sparganium*-Typ*)* innerhalb von Röhrichten bis in den Flachwasserbereich hinein vorkommen. Das Auftreten von Rohr- und/oder Igelkolben belegt ebenso die Existenz eines Flachwasserstandortes zu diesem Zeitpunkt, wie die dominierende Wasserflora.
Anhand der vorliegenden Pollen- und Mikrorestanalyse konnte festgestellt werden, dass Feindetritusmudden sich u. a. in verhältnismäßig flachen, nicht mehr als drei Meter tiefen Gewässern bilden. So wies das Pollenprofil der Untersuchungsfläche ZIETH für die oberen Schichten, die als Detritusmudde identifiziert wurden, einen hohen Anteil an Seerosenpollen (*Nymphaea*) auf, die eine typische Pflanze für relativ flache, nährstoffreiche Gewässer ist. Mehr als die Tiefe des Gewässers ist wahrscheinlich jedoch seine Trophie von Bedeutung für die Ausprägung der Muddeart.

5. Sekundäre Pedogenese in organischen Mudden

Im Folgenden soll exemplarisch die sekundäre Pedogenese der Bodenhorizonte in organischen Mudden (hier Detritusmudden), als einem bisher selten untersuchten Typ dargestellt werden. Alle Angaben beziehen sich auf Mudden und Muddeböden, die einer sekundären Pedogenese unterliegen. Auf die Definition von primärer und sekundärer Pedogenese wurde in Kapitel 3 eingegangen.

Die Detritusmudden weisen verschiedene Farben auf: olivgrün, grau-bläulich, grüngrau bis braun, rötlich, rotbraun sowie schwarz. Grünliche Farben treten bei Mudden mit Humus-Gehalten größer als 70 % auf, deren Zusammensetzung primär durch See-interne Einflüsse, wie z. B. Art und Menge der organischen Substanz oder Ab- und Umbauprozesse, gesteuert wird. Ein hoher Gehalt an Algenresten läßt sie grünlich erscheinen. Graue und dunkelgraue (anthrazit) Farben treten bei Humus-Gehalten von ca. 50 Masse- % auf.
Den Oberboden bildende organische Mudden sind überwiegend schwarzbraun. Diese Färbung ist auf Huminstoffe bzw. eingemischte Torf- und Anmoorpartikel zurückzuführen. Bei der Entnahme von Proben wurde ein schnelles und starkes Nachdunkeln der Mudden festgestellt. Auf Grund ihrer grauen Färbung sind die mineralreichen Detritusmudden leicht mit Schluffmudden zu verwechseln. Allerdings trocknen die Detritusmudden extrem langsam und hafteten auch nach dem Trocknen zusammen, wobei sie eine harte und spröde Masse bilden. Demgegenüber trocknen Schluffmudden schnell und lassen sich in der Hand leicht zerreiben, wobei die Substanz ein mehliges Pulver ergibt. Detritusmudden bilden eine meist homogene, feinkörnige Masse mit gallertartiger, elastischer bis plastischer Konsistenz. Oft sind makroskopisch erkennbare Reste von Makrophyten oder Samen von Wasserpflanzen beigemengt. Seltener sind Reste von Schnecken und Muscheln. Samen von Wasserpflanzen treten häufig in durch seeninterne Strömungen zusammengetragenen Nestern auf.
Es treten deutliche Unterschiede in der Konsistenz zwischen oberflächennahen, wechselnden Grundwasserständen unterworfenen und tieferen, im permanent Grundwasser gesättigten Bereich liegenden Schichten auf. Die in Folge der Entwässerung konsolidierten Mudden verhalten sich gegenüber geringem Druck zunächst elastisch, gegenüber stärkerem Druck eher plastisch. Bei abnehmendem Wassergehalt nehmen die Festigkeit der Substrate und damit ihre Belastbarkeit gegenüber Zug- und Druckkräften zu. Sie

nehmen dann eine gummiartige Konsistenz an. Wassergesättigte Detritusmudden sind knet- und ausrollbar. Geringer konsolidierte Mudden weisen z. T. eine breiige Konsistenz auf. Die im permanenten Grundwasserbereich liegenden Mudden reagieren thixotrop.

5.1 Organische Substanz und pH-Werte

Bei Detritusmudden mit mehr als 30 Masse-% Humusgehalt liegt rund ein Viertel im Bereich zwischen 40 und 60 Masse- %. Zwischen 80 und 90 Masse- % gibt es eine weitere Häufung. Sehr selten kommen reine Detritusmudden mit einem Humusgehalt von größer als 90 Masse- % vor. Nach SUCCOW (1988) entsprächen diese Mudden so genannten Reinmudden. Tatsächlich lassen sich bei den Glühverlusten zwischen Ober- und Unterbodenhorizonten Differenzen bis zu 40 Masse- % nachweisen (siehe Tab. 3). Die Glühverluste der unterhalb des entwässerten Bereiches liegenden Detritusmudden erreichen Werte zwischen 70 und 90 Masse- %, während die im Schwankungsbereich des Grundwassers liegenden Detritusmudden Werte zwischen 40 und 60 Masse- % aufweisen. Die hohen Werte sind somit als ursprünglich anzusehen, die niedrigen Werte als das Ergebnis des Abbauprozesses.

Tab. 3
Tiefenbezogene Abnahme der Glühverluste in der Detritusmudde im Ziethener Seebruch

Tab. 3
Decrease of organic matter with depth in Ziethener Seebruch

Profil	Tiefe [cm]	GV Masse-%	pH Wert
Zieth 1	0-25	59,74	6
	25-35	43,02	6,2
	35-100	86,98	5,7
Zieth 12	0-25	55,1	7
	25-35	30,0	5,5
	35-55	42,1	5,1
Zieth 13	0-25	40,2	6
	25-35	44,5	6,1
	35-45	49,4	6,2
	45-55	42,4	7

5.2 Bodenhorizonte in sekundären Muddeböden

In den untersuchten Detritusmudden waren Polyeder mit bis zu 30 cm Durchmesser ausgebildet. Die Klüfte zwischen den Polyedern erreichten bis zu 5 cm Breite und waren meist mit Material des Oberbodens verfüllt. In den Polyedern herrschten auf Grund des Luftmangels reduzierende Verhältnisse, so dass deren kaum gegliederte amorphe Masse von graugrüner, z. T. ins bläuliche gehender Farbe war. Auf den Aggregatoberflächen waren tapetenartig rostrote Eisenoxide ausgebildet. Bis zur Untergrenze der durchwurzelten Schicht waren die Mudden von vertikal verlaufenden, feine Wurzelbahnen auskleidende, braunschwarzen Manganverbindungen durchzogen. Diese „Nadelstichporen“ traten bei frisch angeschnittenen Aggregaten auf Grund der Farbunterschiede zwischen der durch Reduktion graubraun, z. T. hellgrau gefärbten Mudde und dem sich um die Feinwurzeln herum ausbildenden, ca. 1-2 mm breiten, dunkelgrauanthrazitfarbenen Ring deutlich sichtbar hervor. Besonders gut zu erkennen waren die Oxidationsareale beim Abstechen von Bodenscheiben parallel zur Bodenoberfläche und senkrecht zum Verlauf der Wurzelbahnen.
In allen untersuchten Profilen trat in einer Tiefe von 10 bis 50 cm ein lamellenartiges horizontales Plattengefüge auf. Die Platten besaßen einen scherbigen Bruch. Je trockener der Boden und je weiter die Bodenentwicklung vorangeschritten war, desto kleiner und dünner wurden die einzelnen Platten. In feuchtem Zustand kamen zusammenhängende Lagen mit gummiartiger Konsistenz vor. Diese spalteten bevorzugt an Schwächezonen, wie z. B. lithologischen Wechseln von feinkörnigem zu gröberem Material. Im trokkenen Zustand kam es zur Auflösung in cm-große und nur mm-mächtige „Plättchen“.

In Abbildung 4 und 5 ist die Entwicklung der nachfolgend beschriebenen Bodenhorizonte sowie deren hydrologische Charakteristik schematisch dargestellt.

Die Detritusmudden besaßen ursprünglich ein kohärentes Grundgefüge, das bei sich ganzjährig im Grundwasserbereich befindenden Schichtpaketen erhalten geblieben ist. Wiesen Schichtpakete vertikale Klüfte auf, war dies ein Zeichen dafür, dass sie von Entwässerungsmaßnahmen betroffen waren bzw. sind. Die in den Detritusmudden aufgetretenen Klüfte besaßen meist scharfe Grenzflächen und erreichten maximal 150 cm Tiefe und bis zu 10 cm Breite. Sie waren teilweise mit Material aus dem Oberboden verfüllt und zum Teil Luft erfüllt. Senkrecht zu den vertikal verlaufenden Schrumpfrissen bildeten sich weitere Risse, z. T. an durch Substratwechsel hervorgerufenen horizontal verlaufenden Schwächezonen.

Folgende Bodenhorizonte wurden beschrieben:
I. Vererdete Mudde
Dieser Horizont ist das Ergebnis von anthropogener und biogener Turbation von Mudde und Torf. Er weist meist Krümelgefüge auf und ist von dunkelbrauner bis braunschwarzer Farbe. Der Torf ist meist vererdet oder zumindest so stark zersetzt, dass die Torfart makroskopisch nicht mehr bestimmbar ist. Von dem darunter liegenden Muddehorizont sind Aggregate entweder durch Pflügen oder durch Labilisierung der Grenzschicht in Folge der Wechselwirkungen zwischen Schrumpfungs- und Quellungsprozessen, Wurzelwachstum der Pflanzen und Bioturbation durch Bodenorganismen gelöst. Diese werden bei weiterer Bodenbear-

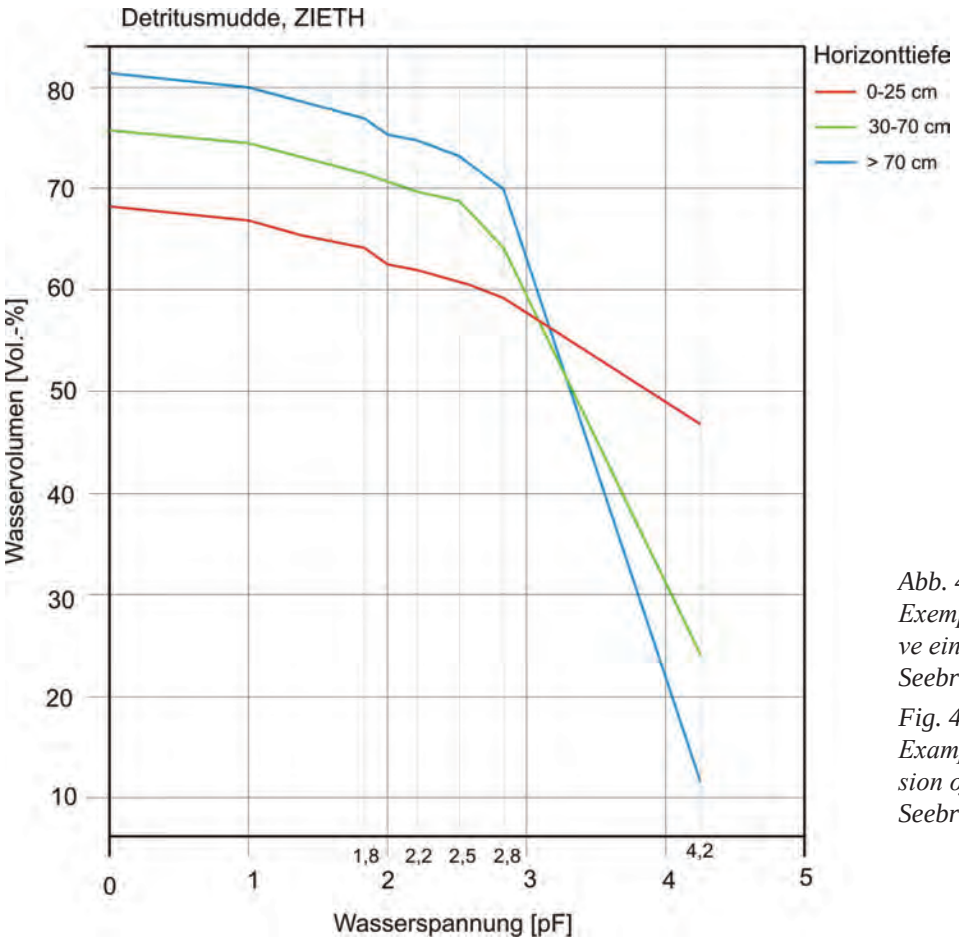


Abb. 4
Exemplarische Wasserspannungskurve eines Profils aus dem Ziethener Seebruch

Fig. 4
Examplary diagram of water tension of a soil profile from Ziethener Seebruch

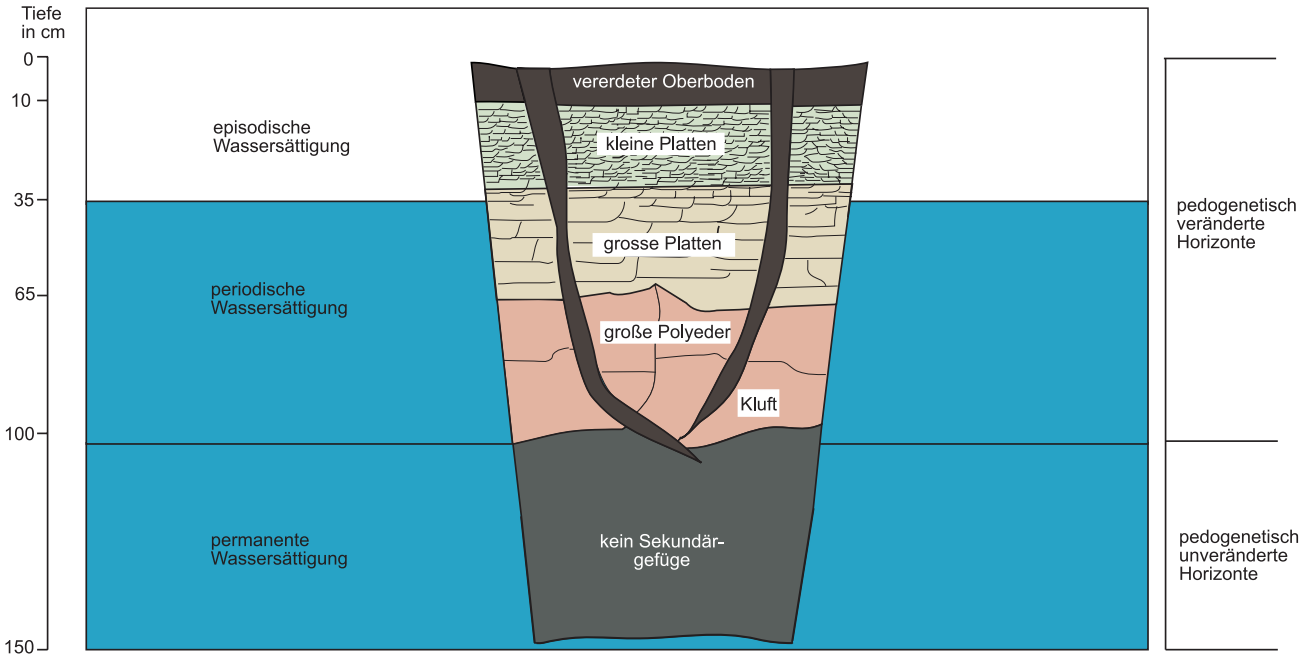


Abb. 5 Schematische Darstellung der Horizontentwicklung in organischen Mudden
Fig. 5 Schematic diagram of horizon development in organic gyttja

beitung oder Bioturbation in den Torf eingearbeitet. Die Muddeaggregate weisen unterschiedliche Größen auf und sind deutlich größer als der meist zu feinen Partikeln zerfallene vererdete Torf. Das krümelige Gefüge ist somit vorwiegend auf die Torfbestandteile zurückzuführen. Besonders in nahe zur Ackerkante gelegenen Profilen traten mineralische Beimengungen auf, die wahrscheinlich auf Hangabspülung zurückgehen. In Arealen mit besonders geringmächtigen Moorsubstraten kann mineralisches Material auch aus tieferen Schichten an die Oberfläche gepflügt worden sein.

II. Schrumpfungshorizont 1

Aus Mudde mit lose zusammenhaltenden kleinen Aggregaten bestehend. Dieser Horizont trat in einer Tiefe von 10 bis 50 cm auf. Die Gefügeelemente waren bis zu 3 cm lang, nur 1-3 mm dick und dachziegelartig angeordnet. Die Gefügefragmente werden bei intensiver Durchwurzelung durch die Pflanzenwurzeln zusammengehalten. Je trockener der Boden und je weiter die Bodenentwicklung vorangeschritten war, desto kleiner und dünner waren die einzelnen Platten. In feuchtem Zustand kamen zusammenhängende Lagen mit gummiartiger Konsistenz vor. Diese spalteten bevorzugt an Schwächezonen, wie z. B. lithologischen Wechseln von feinkörnigem zu gröberem Material.

III. Schrumpfungshorizont 2

Aus Mudde mit verdichteten, größeren Aggregaten gebildet. In diesem Horizont trat ein Plattengefüge mit Aggregaten von maximal 7 cm horizontaler und 5-10 mm vertikaler Ausdehnung auf. Die Platten waren dachziegelartig angeordnet und relativ fest miteinander verzahnt. Infolge der Primärschrumpfung hatte das Substrat eine steife, elastische Konsistenz. Die Festigkeit der horizontal lagernden Schichten verhindert ein vertikales Wachstum der Pflanzenwurzeln, es kommt zur Bildung von typischen Horizontalwurzeln.

IV. Schrumpfungshorizont 3

Der Horizont wird aus Polyedern von bis zu 50 cm Durchmesser gebildet. Innerhalb der Polyeder tritt Kohärentgefüge auf. Eine Feinstschichtung des Substrates im Bereich von 1 bis 3 mm ist für beide Untersuchungsflächen zu verzeichnen, die erst bei Austrocknen des Bodens sichtbar wurde. In den Polyedern herrschten auf Grund des Luftmangels reduzierende Verhältnisse. Manganausfällungen kamen nur in der Umgebung von durch Pflanzenwurzeln verursachten Poren vor.

V. Horizont

Abschnitt ohne pedogenetisch bedingte morphologische Veränderungen. Hierbei handelt es sich um einen Reduktionshorizont, der permanent im Grundwasserbereich liegt und bisher nicht drainiert wurde. Möglicherweise weist er gegenüber liegenden Horizonten eine größere Trockenrohdichte auf, die durch die Vergrößerung der Auflast bei Entwässerung verursacht wird. Das primäre Kohärentgefüge ist unverändert erhalten. Seine Konsistenz ist weicher als die der hangenden Horizonte.

6. Schlussfolgerungen

Gelangen Mudden an die Geländeoberfläche, unterliegen sie einer sekundären Pedogenese. Das Vorkommen von oberflächennahen Mudden ist auf zwei unterschiedliche Prozesse zurückzuführen: 1. Seeablassung und 2. vollständige Mineralisierung von geringmächtigen Decktorfschichten. In beiden Fällen entsteht ein sekundäres, anthropogen induziertes Versumpfungsmoor. Dieser Moortyp wird hier in Anlehnung an die von SUCCOW (1988) vorgestellten hydrogenetischen Moortypen erstmalig ausgewiesen.

Es wurden maximal fünf Bodenhorizonte identifiziert, wobei die Anzahl der Horizonte ein Maß für den Fortschritt der Bodenentwicklung ist: Je mehr Horizonte, desto weiter fortgeschritten die Bodenbildung. Ähnlich wie bei den Torfen, verändert sich bei den Mudden als zuerst sichtbares Merkmal das Gefüge. Dieses konnte zur Identifizierung der Horizonte herangezogen werden, da es zwischen den untersuchten Flächen Parallelen gab. Die sekundäre Pedogenese führt zu einer Veränderung der bodenphysikalischen und -chemischen Eigenschaften, wobei sich die physikalischen Eigenschaften, wie z. B. Trockenrohdichte, Gesamtporenvolumen und Porenverhältnisse sehr schnell ändern. Der in den organischen Mudden vorhandene große Anteil an organischer Substanz unterliegt dabei der Mineralisierung.

Mit der Dokumentation der pedogenetischen Merkmale von sekundären organischen Muddeböden liegt ein Ansatz für die Weiterentwicklung von pedogenetischen Kennzeichnungsformen der organischen Mudden im Rahmen der Bodensystematik vor.

Zusammenfassung

Mudden treten in Brandenburg oberflächennah in der Folge zweier Prozesse auf: 1. Durch die gezielte Ablassung von Seen mit dem Ziel landwirtschaftlich nutzbare Fläche zu gewinnen sowie 2. als Folge des Abbaus von gering mächtigen von Mudde unterlagerten Torfschichten. Während die Ablassung von Seen in der Vergangenheit stattfand, dauert der Abbau von Torf an. Daher ist in Zukunft mit einer größeren Fläche von oberflächennah anstehenden Mudden zurechnen.

Die Mudden an der Geländeoberfläche unterliegen einer sekundären Bodenbildung, die einerseits zur Ausbildung von Bodenhorizonten als auch zur Veränderung der bodenphysikalischen und -chemischen Eigenschaften führt. Bodenhorizonte wurden primär anhand ihres Gefüges identifiziert. Während pedogenetisch unveränderte Mudde generell extrem hohe Porenvolumina aufweist, und im Besonderen das Volumen der Mesoporen groß ist, nimmt das Gesamtporenvolumen in Folge der Pedogenese ab. Dabei nimmt der Anteil der Mikroporen zu, während sich das Volumen der Mesoporen verringert.

Summary

Surface-near gyttja sediments in the federal state of Brandenburg results from two processes: 1. The intentionally drainage of lakes and 2. as a result of the decomposition of thin peatlayers that directly overlay the gyttja sediments. While the drainage of lakes took place in the past the process of decomposition of peat is still going on and we expect an increase of these areas.
As a result of drainage the surface-near gyttja sediments are effected by a secondary pedogenesis, that leads to the development of soil horizons and an alteration of the soil physical and chemical characteristics. However, while not altered gyttja show a huge volume of pores and a especially of the mesopores, the porespace volume decreases subsequently to the drainage. While the volume of micropores increases the volume of mesopores decreases.

Literatur

Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. - 5. Aufl., 438 S., Hannover

Bramer, H., Hendl, M., Marcinek, J., Nitz, B., Ruchholz, K. & S. Slobodda, (1991): Physische Geographie von Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Sachsen und Thüringen. - 548 S., Gotha (Haack-Gotha)

Chmieleski, J. (1997a): Das Baberowmoor - Moor- und Landschaftsgenese im Bereich der Pommerschen Eisrandlage. - TELMA **27**, S. 23-33, Hannover

Chmieleski, J. (1997b): Das Baberowmoor - Moor- und Landschaftsgenese im Bereich der Pommerschen Eisrandlage. - 75 S., Diplomarbeit, Humboldt Universität zu Berlin, Berlin (unveröff.)

Driescher, E. (1974). Veränderungen an Gewässern in historischer Zeit. - 427 S., Diss. B, Humboldt Universität zu Berlin, Geographisches Institut, Berlin

Grosse-Brauckmann, G. (1961): Zur Terminologie organogener Sedimente. - Geol. Jb. **79**, S. 117-144, Hannover

Hinze, C., Jerz, H., Menke, B. & H. Staude (1989): Geogenetische Definitionen quartärer Loclergesteine für die Geologische Karte 1 : 25 000 (GK 25). - Geol. Jb. **A112**, 243 S., Hannover

Kaiser, K. (2001): Die spätglaziale bis frühholozäne Beckenentwicklung in Mecklenburg-Vorpommern. Untersuchungen zur Stratigraphie, Geomorphologie und Geoarchäologie. - 208 S., Greifswalder Geographische Arbeiten **24**, EMAU Universität Greifswald, Greifswald

Passarge, S. (1901): Die Kalkschlammablagerungen in den Seen von Lychen, Uckermark. - Jb. Königlich Preußische Geologische Landesanstalt **XXII**, 1, 152 S., Berlin

Rog, Z. (1978): Some Morphological Features as the Indexes of Lacustrine Sedimentation Conditions. - Pol. Arch. Hydrobiol. **25**, S. 355-359, Warszawa

Rog, Z. (1979): Genesis of funnel-forms occuring in carbonate fluvioglacial sands and gravels. - Polish Journal of Soil Science **12**, S. 53-58, Warszawa

Schleier, C. & A. Behrendt (2000): Kennzeichnung von Eigenschaften der Folgeböden Nordostdeutscher Niedermoore. Aus Anlass des 65. Geburtstages von Dr. Wilhelm Schmidt“. - Archives of Agronomy and Soil Science **45**, 3, S. 207-221, London

Schmidt, W. (1988): Untersuchungen zur Bestimmung des Verformungsverhaltens von Torfen und Mudden und der dafür maßgeblichen Bodenkennwerte. - Akademie der Landwirtschaftswissenschaften, Institut für Futterproduktion, Paulinenaue, 75 S., Berlin

Strahl, J. (2002): Bericht zur pollenanalytischen Untersuchung von 23 Proben aus dem Profil 13, Ziethener Seebruch, Land Brandenburg. - Bericht LBGR vom 27.03.2002, 10 S., Kleinmachnow (unveröff.)

Succow, M. (1988): Landschaftsökologische Moorkunde. - 340 S., Jena (Fischer)

Succow, M. & H. Joosten (Hrsg.) et al. (2001): Landschaftsökologische Moorkunde. - 622 S., Stuttgart (Schweizerbart)

Weber, C. A. (1907): Aufbau und Vegetation der Moore Norddeutschlands. - Beiblatt zu den Botanischen Jahrbüchern **90**, S 19-43, Berlin

Zeitz, J. (1993): Möglichkeiten der Vernässung von Teilflächen des Oberen Rhinluchs. - Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg. Sonderheft Niedermoore, S. 26-29, Potsdam

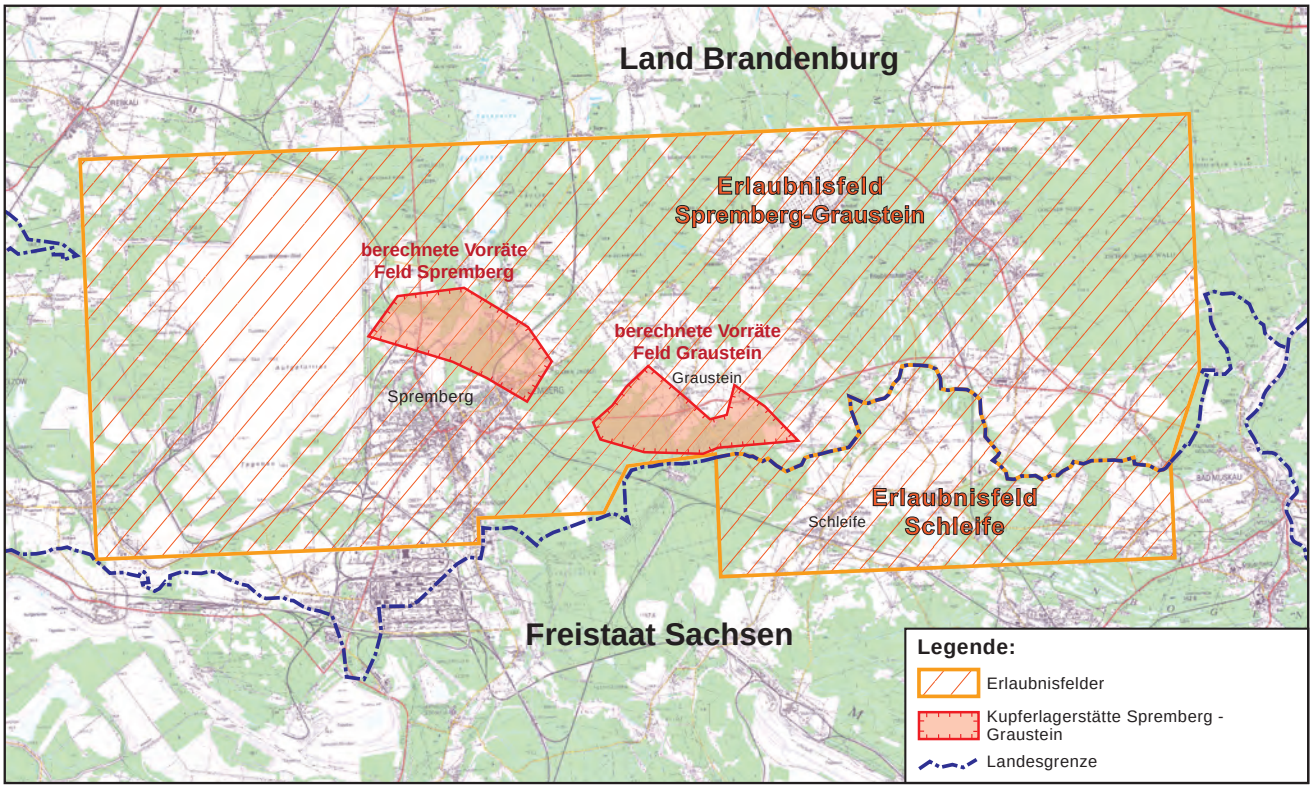
Anschrift der Autoren:
Dr. Jana Chmieleski
Prof. Dr. Jutta Zeitz
Humboldt-Universität zu Berlin
Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät
Fachgebiet Bodenkunde und Standortlehre
Invalidenstr. 42
10115 Berlin,
jana.chmieleski@gmx.de

Aufsuchungserlaubnis für die Kupferlagerstätte Spremberg erteilt

Das Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe (LBGR) erteilte der MINERA S. A. mit Sitz in Panama per 11. Juni 2007 die bergrechtliche Erlaubnis zur Aufsuchung von Kupfer und begleitenden Metallen für den brandenburgischen Teil eines auch nach Sachsen reichenden Erkundungsfeldes. Von dem 387 km² großen Gesamtfeld liegen 337 km² in Brandenburg.

Mit der nun erteilten Erlaubnis bestehen gute Aussichten, die schon zu DDR-Zeiten erkundete Lagerstätte Spremberg-Graustein mit ca. 1,5 Mio t Bilanzvorräten an Kupfer zu erschließen und in die Nutzung zu bringen. Um die Aufsuchungsrechte bewarben sich auch weitere kompetente Bergbauunternehmen. Der Zuschlag für MINERA S. A. wurde erst nach gründlicher Prüfung und entsprechend den Regelungen des Bundesberggesetzes erteilt. Da die Lagerstätte sich auch in den Freistaat Sachsen erstreckt, erfolgte die bergrechtliche Entscheidung in direkter Abstimmung mit dem Sächsischen Oberbergamt in Freiberg. Gegen die Vorrangentscheidung für MINERA S. A. hatten die Mitantragsteller Widersprüche eingereicht, die nach erneuter Prüfung am 17. April 2008 zurück gewiesen wurden.
Die Aufsuchungsphase wird von den Mitarbeitern der MINERA S. A. dazu genutzt, die fachlichen Grundlagen für die Bewertung der Lagerstätte so zu verdichten, dass auf dieser vertieften Basis die Entscheidung zum Bau des Bergwerks getroffen werden kann. Hierzu sind das Abteufen von neuen Bohrungen bis 1500 m Tiefe sowie geophysikalische Spezialuntersuchungen vorgesehen, die noch mehr Sicherheit in der Bewertung der Lagerstätte geben sollen.
Die geologischen Verhältnisse der Lagerstätte Spremberg-Graustein wurden bereits 2006 im Band 13 der Brandenburgischen Geowissenschaftlichen Beiträge durch Kopp et al. vorgestellt. Auf Grundlage der oben erwähnten Erkundungsberichte und Publikationen aus der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts entwickelte Dr. Jürgen Kopp verbesserte Vorstellungen zur Genese und zur Struktur dieser Lagerstätte. Zeitgemäß präsentiert, veranlasste er u. a. damit das neue Berggeschrei.

Klaus Freytag



Erlaubnisfelder Spremberg-Graustein und Schleife

Brandenburg. geowiss. Beitr.	Kleinmachnow, Cottbus	**15** (2008), 1/2	S. 131- 146	9 Abb., 1 Tab., 39 Lit.

Das Große Moosbruch (Bolschoje Mochowoje Boloto) in der Kaliningradskaja Oblast, Russische Föderation, als Ziel moorkundlicher Untersuchungen

The Great Moss Bog (Bolschoye Mokhovoye Boloto) in the Kaliningrad Region, Russian Federation, as the subject for the study of peatlands

Jürgen Haller †, Horst Lehrkamp & Heidemarie Schulze

In memoriam gewidmet Herrn Diplom-Geologen Jürgen Haller

1. Einleitung

Die Moore als ausgleichende Landschaftselemente erfuhren mit Beginn der 90er Jahre des 20. Jahrhunderts eine zunehmende Würdigung. Seit dem 17. Jahrhundert ist die Moorfläche in Europa durch die Brenntorfgewinnung und intensive landwirtschaftliche Nutzung sehr viel geringer geworden. Eine extensive Moornutzung ist somit ein erster Schritt zu ihrer Erhaltung. Die jetzt noch vorhandenen Moore erfordern darüber hinaus einen strengen Schutz in allen Staaten.

Das Große Moosbruch in der Kaliningradskaja Oblast (Abb. 1) gehört zu den großen europäischen Mooren, die noch relativ naturnah sind. Es war vor dem 2. Weltkrieg ein gefragter Ort botanischer und moorkundlicher Kartierungen und Forschungen.

Aus historischen Gründen bietet sich eine Zusammenarbeit zwischen dem Bundesland Brandenburg und der Kaliningradskaja Oblast in der Russischen Föderation an, da die gewonnenen Erfahrungen für den Moorschutz in beiden Ländern angewandt werden können. Dies entspricht den Zielen der FFH-Richtlinie zur Erhaltung der Lebensraumtypen für gefährdete Arten.

Eine hervorragende Grundlage für Vergleichsuntersuchungen im Sinne eines Monitoring für sensibel reagierende Lithotypen bietet die über 100 Jahre alte Musterkartierung durch die Preußische Geologische Landesanstalt, die darüber hinaus interessante Einsichten in die Entwicklung

Abb. 1
Lageplan des Großen Moosbruches (Kaliningradskaja Oblast, Russische Föderation)

Fig. 1
Site of the position of the Großes Moosbruch (Kaliningradskaja Oblast, Russian Federation)

der damaligen Kartierungsstrategie für Moore (KLAUTZSCH 1903/05) erlaubt.

Das Moorgebiet liegt in der ehemaligen preußischen Provinz Ostpreußen, deren Nordteil als Folge des 2. Weltkrieges an die Sowjetunion fiel. Bis zum Jahre 1948 musste die bis dahin noch dort verbliebene deutsche Bevölkerung das Gebiet verlassen. Vorerst durften sich hier nur Militärpersonen und deren Angehörige aufhalten. In den 50er Jahren erfolgte eine Wiederbesiedlung mit Menschen aus den kriegszerstörten Gebieten der Sowjetunion. Ostpreußen nahm in der preußischen und deutschen Geistes- und Wirtschaftsgeschichte durch die 1544 gegründete Albertus-Universität Königsberg und die produktive Landwirtschaft einen bedeutenden Platz ein.

Im Gang der Geschichte kam es relativ früh zu einer Verbindung zwischen der Mark Brandenburg und Preußen. 1511 wurde Markgraf ALBRECHT aus der fränkischen Linie der Hohenzollern zum letzten Hochmeister des inzwischen unbedeutend gewordenen Restordensstaates Preußen gewählt. Er nahm den lutherischen Glauben an, wandelte 1525 den Ordensstaat in ein weltliches Herzogtum um und nahm es vom polnischen König ZYGMUNT I. Stary, seinem Onkel, als Lehen. Im Jahre 1563 erreichte die brandenburgische Linie der Hohenzollern die Mitbelehnung und nach dem Aussterben der fränkischen Linie 1618 übernahmen die Brandenburger Kurfürsten das Herzogtum und verbanden beide Territorien in Personalunion.
Der brandenburgische Kurfürst FRIEDRICH-WILHELM konnte 1657 mit dem Vertrag von Wehlau die polnische Lehenshoheit beenden. Im Jahre 1701 krönte sich Kurfürst FRIEDRICH III. zum König FRIEDRICH I. in Preußen und dieser Name ging auf alle Territorien der Brandenburger über (STAMM 1989).

Mit der Gründung des Kaiserreiches 1871 nahmen Wissenschaft und Wirtschaft in Deutschland einen bedeutenden Aufschwung. Die Industrialisierung und rasche Zunahme der Bevölkerung machten die Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion notwendig. Die in Deutschland reichlich vorhandenen, erst teilweise genutzten Moorvorkommen sollten für diesen Zweck erschlossen werden (FLEISCHER 1910). Die im Jahre 1873 in Berlin gegründete Preussische Geologische Landesanstalt übernahm auf der Basis des Messtischblattes die Kartierung des preußischen Staatsgebietes einschließlich der Moore. Zur Beratung in allen Fragen der technischen und landwirtschaftlichen Nutzung der Moore wurde im Jahre 1876 die Central-Moor-Commission gegründet. Ein Jahr später, 1877, entstand die Moorversuchsstation Bremen, die sich vor allem mit den Fragen der landwirtschaftlichen Moorkultur befasste. Die Ergebnisse aller drei Institutionen sind die Grundlage für Vergleiche zum Zustand der Moore von einst und jetzt. Nach der Öffnung der Kaliningradskaja Oblast ist das Große Moosbruch seit 1990 so wieder für Studentenexkursionen und Moorforschungen zugänglich.

2. Lage und Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Zur Beschreibung der regional-geologischen Situation wurden Kartendarstellungen von LEPSIUS (1894), WOLDSTEDT (1935) und LIEDKE (1981) herangezogen. Danach wird das Memeldelta weitgehend durch flächenhaft verbreitete glazifluviale Sedimente und Moorbildungen geprägt. Vielfach ragen Inseln von glazigenen Sedimenten (Geschiebemergel, Geschiebelehm) sowie Schmelzwassersanden an die Oberfläche.

Die Berandung des Deltas besteht aus der flachwelligen Grundmoräne des Pommerschen Stadiums der Weichseleiszeit. In einem weiten, nach Nordwesten offenen Bogen wird die Landschaft von einem flachen Höhenrücken durchzogen, der als Willkischker Höhenzug die Memel quert und zur Nordrügenschen bzw. Mittellitauischen Eisrandlage gehört. Dies enspricht der Staffel H der Kopenhagener Eisrandlage (LIEDKE 1981). In zwei Bohrungen, dargestellt auf dem Meßtischblatt 1094 (Lauknen), liegt die Pleistozänbasis bei -32,0 m (Lauknen) bzw. bei -22,7 m (Schnecken) unter der Geländeoberfläche. Im Liegenden wurden Oberkreidesedimente erbohrt. Die Moorbildung im Großen Moosbruch begann im Präboreal mit der Sedimentation von Ton- und Schluffmudden. Nachfolgend wuchsen randlich Niedermoortorfe, im Zentrum Übergangsmoortorfe auf, die von dem zentralen Hochmoorkomplex überlagert wurden.

Das Große Moosbruch liegt im südlichen Bereich des Memeldeltas und seine Begrenzung wurde in der Vergangenheit nicht einheitlich beschrieben. Je nach Zurechnung verschiedener randlicher Gebiete infolge spezieller thematischer Betrachtungsweisen schwankt die Definiton der Begrenzung erheblich (KLAUTZSCH 1906), (KOBBERT 1926).

Auf den Meßtischblättern der Preußischen Geologischen Landesaufnahme wird als „Großes Moosbruch“ das Gebiet zwischen dem Fluss Laukne (Abb. 2) im Norden und Nordosten, dann der Grenze zur Grundmoränenfläche etwa entlang der ehemaligen Orte Panzerlauken-Karklienen-Abschruten-Stumbragirren-Piplin im Osten und Südosten sowie der kanalisierten Timber im Südwesten und Westen bezeichnet (Abb. 3).

Dieses gewaltige Moorgebiet hat nach KLAUTZSCH (1906) eine Größe von 15 000 ha. Andere Autoren geben die Flächengröße auf Grund unterschiedlicher Gebietsbegrenzung zwischen 10 000 und 40 000 ha an (GROSS 1912), (BARTEL 1924), (STÖBER und ROHRBECK 1930). Schwankungen der Größenangaben finden sich auch bei der Gesamtfläche der Moore Ostpreußens, die der Landesgeologe Prof. WOLF (1923) mit 361 000 ha bezifferte, GROSS (1912) jedoch nur mit 191 000 ha. Diese Unterschiede erklären sich aus der erst am Beginn befindlichen Moorkartierung und zum anderen aus unterschiedlichen Berechnungsmethoden.

Abb. 2 Die Laukne begrenzt das Untersuchungsgebiet
Fig. 2 The river Laukne forms the boundary of investigation area

Obgleich sich auch jenseits von Timber und Laukne weitere Moorflächen befinden, die bisweilen dem Großen Moosbruch zugerechnet wurden, beschränken sich diese Betrachtungen fast ausschließlich auf den beschriebenen eng gefassten Raum.

Administrativ gehörte das Gebiet zur Provinz Ostpreußen, Kreis Labiau (Regierungsbezirk Königsberg) und Niederung (Regierungsbezirk Gumbinnen). Erschwert wird die Orientierung auf den Karten unterschiedlicher Erscheinungsjahre und in der Literatur insofern, als die Dörfer, Kolonien und Flurbezeichnungen durch einen Erlass im Jahre 1938 ihre alten Namen pruzzischen bzw. litauischen Ursprungs verloren und durch „deutsche“ Bezeichnungen ersetzt wurden. Im folgenden wird aus praktischen Gründen weitgehend die ursprüngliche, historisch korrekte Bezeichnung verwendet. Heute ist die amtliche Bezeichnung: Russische Föderation, Kaliningradskaja Oblast, Slavski Rayon.

3. Besiedlungsgeschichte des Großen Moosbruches

Die ersten dörflichen Ansiedlungen entstanden im 13. Jahrhundert auf den pleistozänen Rändern und auf den Moränendurchragungen des Niederungsgebietes. Dazu gehörten Lauknen, Mauschern und Kupstienen sowie die obengenannten Orte südwestlich der Bearbeitungsgrenze. Später begann die Erschließung und Besiedlung des randlichen Moores entlang der Flüsse vorwiegend durch Waldarbeiter. Als älteste Moorkolonie entstand im Jahre 1756 Alt-Heidlauken südöstlich des Nemonienstromes und als jüngste Elchtal im Jahre 1904 im westlichen Bereich nahe des Timberkanals. Die systematische Kolonisation großer Moore in der preußischen Monarchie begann mit dem Erlass des Urbarmachungsediktes im Jahre 1765 durch König FRIEDRICH II. Dieses stellte die rechtliche Grundlage dar, auf der den Gemeinden die Moorflächen entzogen und diese zu Staatseigentum erklärt wurden (FRIEDRICH II. 1765). In einem Schreiben vom Januar 1777 wies FRIED-

Tab. 1 Moorkolonien im Großen Moosbruch
Tab. 1 Settlements in the Great Moss Bog

Moorkolonie	Gründungsjahr	Einwohner
Alt Heidlauken	1756	442
Alt Sussemilken	1782	341
Carlsrode	1862	582
Elchtal	1904	218
Ewersdorf	1840	94
Franzrode	1858	542
Friedrichsdorf	1838	120
Grünheide	1840	134
Julienbruch	1814	160
Königgrätz	1869	359
Langendorf	1874	452
Neu Heidlauken	1840	64
Neu Sussemilken	1840	345
Sadowa	1870	169
Schenkendorf	1871	556
Timber	1786	586
Wilhelmsrode	1862	184

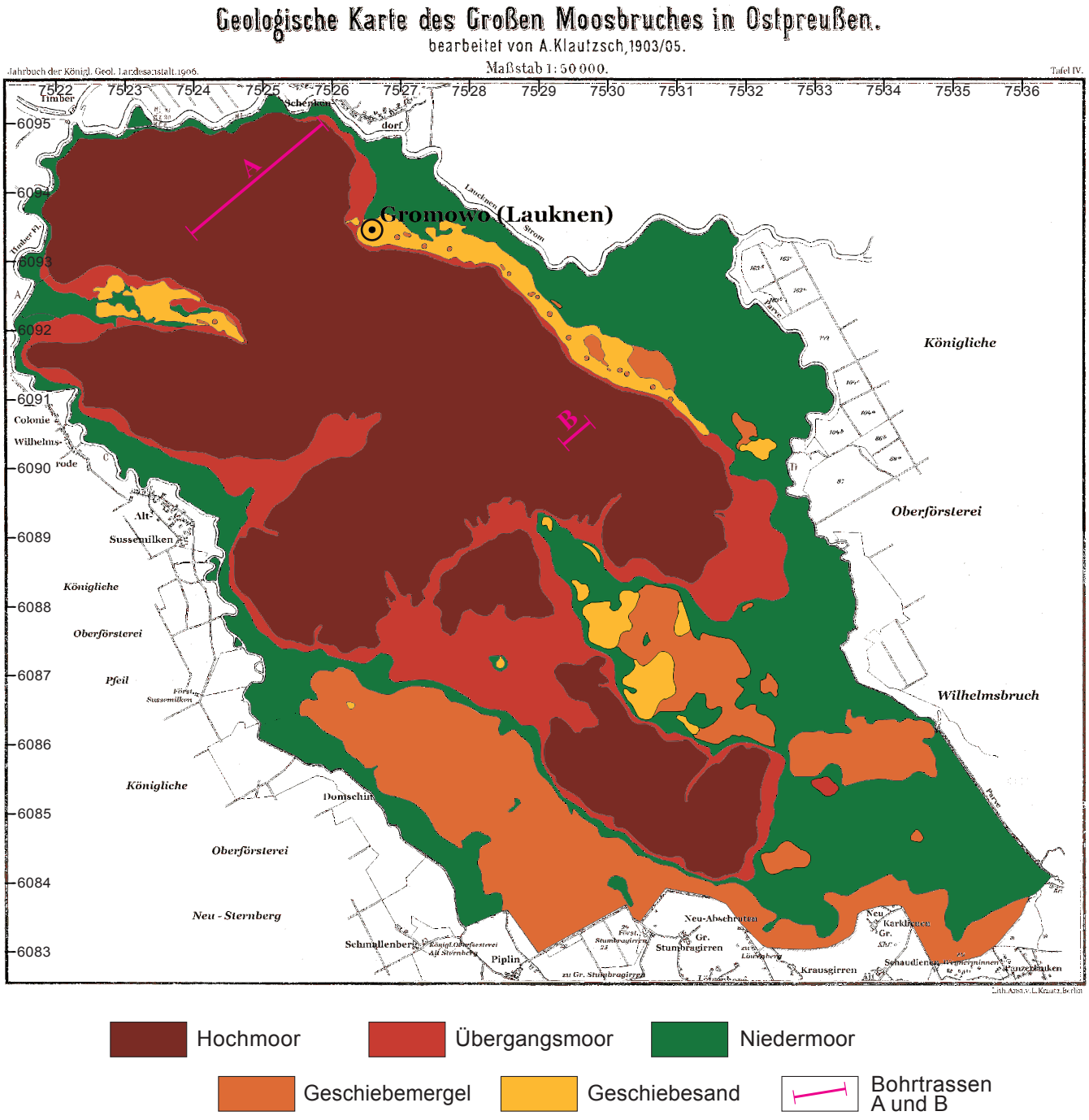


Abb. 3 *Geologische Karte des Großen Moosbruchs*
Fig. 3 *Geological map of the Great Moss Bog*

RICH II. seinen Etatsminister v. Gaudy an, die Aufmerksamkeit der Melioration „ostpreußischer und lithauischer Brücher“ zuzuwenden. In einem dem Brief beigefügten Verzeichnis wies er unter der lfd. Nr. 7 ausdrücklich auf das im Sternberger Forstbezirk gelegene „sogenannte große Moosbruch, 3 Meilen lang und 1 ½ Meilen breit“, hin (STADELMANN 1878). Im Betrachtungsgebiet wurden die folgenden, in der Tabelle 1 aufgeführten Moorkolonien nach KOBBERT (1925) seit 1756 gegründet:

Jeder Kolonist erhielt 6 Morgen Land, je zur Hälfte an den Flüssen gelegenes Niedermoor und sich daran anschließend Übergangs- bzw. Hochmoor. Damit möglichst alle Kolonisten Zugang zu den schiffbaren Flüssen erhalten konnten, wurden die Parzellen mit 26 m möglichst schmal gehalten. Bei den Zuschussparzellen waren es nur 10-12 m.

Die Einwohnerzahl der drei Altdörfer Lauknen, Mauschern und Kupstienen betrug 1 254, so dass im gesamten

Betrachtungsgebiet im Jahre 1939 ca. 6 600 Einwohner lebten. Infolge des 2. Weltkrieges wurden die Moorkolonien im Januar 1945 verlassen und später nicht wieder besiedelt; sie sind von der Landkarte verschwunden.
Die heutige Besiedlung ist auf die Gemarkung Lauknen beschränkt. Im 5 km langen Dorf Gromowo (Lauknen) leben etwa 220 Einwohner.
Die Natur hat sich einen großen Teil der mit viel Aufwand und Mühe kultivierten und landwirtschaftlich genutzten Flächen zurück erobert. Auf diesen Standorten stockt heute ein 60jähriger Wald.

4. Kartierungen im Großen Moosbruch

4.1 Historische Kartierungen

Das im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts zunehmende Interesse an den Mooren erforderte eine Kartierung ihrer Mächtigkeit, des Substrataufbaus und der Vegetation, um den Moortyp zu bestimmen und zuverlässige Statistiken erstellen zu können.

Die in den Jahren 1861 bis 1865 vorgenommene Bonitierung der Böden Preußens war auf die Moore nicht anwendbar. De la Chevallerie (1922) schrieb dazu: „Nach dem damaligen Stand der Moorkunde war nicht daran zu denken, daß die ausführenden Organe der Kreise mit einheitlichen Instruktionen versehen wurden, die eine genaue Ermittlung des Moorbestandes hätten gewährleisten können“. Die Preußische Geologische Landesanstalt und Bergakademie Berlin begann 1873, im Jahr ihrer Gründung, mit der Kartierung zur Anfertigung der geologischen Meßtischblätter. Moore wurden nicht gesondert untersucht, sondern in das Kartierungssystem eingeordnet. Fleischer (1922) schrieb: „Während die frühere geologische Landesaufnahme, hervorgewachsen aus rein wissenschaftlichen und bergbaulichen Interessen, fast ausschließlich das Gebirgsland behandelte, war die im Jahre 1873 begründete Preußische Geologische Landesanstalt von Anfang an bestrebt, durch eine agronomische Kartierung auch des Flachlandes zugleich den Bedürfnissen der Land- und Forstwirtschaft Rechnung zu tragen“. In der Regel betrug die Untersuchungstiefe der Moore allerdings nur 2 m, eine Tiefe, die für die Charakterisierung tiefgründiger Moore nicht ausreicht.

Auch die 1876 gegründete Central-Moor-Commission betrachtete es als eine ihrer Aufgaben, die Ausdehnung und Mächtigkeit der Moore zu erforschen, die Ergebnisse in zuverlässigen Karten und Statistiken niederzulegen und Übersichten über die Bewirtschaftung der Moore aufzustellen. Die Grundlage dafür bildete die botanisch-geologische Durchforschung der Moore, die von der 1877 in der Freien und Hansestadt Bremen gegründeten Moorversuchsstation auf den Weg gebracht wurde.

Eine Dreiteilung der Moore in Flach-, Zwischen- und Hochmoore erfolgte zunächst durch Prof. Fleischer aufgrund chemisch-physikalischer Analysen von Torfproben (Fleischer 1922). Im Jahre 1894 wurde Carl-Albert Weber als Botaniker an die Moorversuchsstation Bremen berufen. Zunächst untersuchte er die ursprüngliche Vegetation der Moore. Über die pflanzliche Zusammensetzung der Torfe kam er zu ihrer systematischen Einteilung auf der Grundlage der Vorgabe Fleischers.

Schon in seinen ersten Untersuchungen hat Weber dem Vorkommen von Pollen der Waldvegetation in den Torfschichten der Moore seine Aufmerksamkeit geschenkt, um daraus Anhaltspunkte für die nacheiszeitliche Klimaentwicklung zu gewinnen. Diese von ihm zuerst angewendete und später durch den Schweden v. Post (1924) zu einem exakten Verfahren ausgearbeitete Pollenanalyse ist heute ein wichtiges Verfahren zur relativen Altersbestimmung der Moore. Benrath (1934) und Grigat (1931) führten mit dieser Methode Untersuchungen in Ostpreußen durch und entwickelten sie weiter.

Die Ergebnisse, die Weber (1902) im Augstumalmoor im Memeldelta gewann, trugen zur Entwicklung seines Systems der Torfarten bei. Jasnowski (1962) entwickelte dieses System der Torfartenklassifizierung weiter. Weber (1909) definierte ein Moor als ein Gelände, das mit einer Torf- oder Moderschicht im entwässerten Zustand 20 cm beträgt. Die Torfarten teilte er in drei Klassen ein, nämlich:

1. nährstoffreiche (eutrophe) Torfarten
2. nährstoffärmere (mesotrophe) Torfarten
3. nährstoffärmste (oligotrophe) Torfarten

Mudden wurden als sedimentäre Bildungen ausgewiesen, die nach Torf-, Leber-, Kalk-, Sand- und Tonmudden zu unterscheiden sind.

Auf der Grundlage der Torfartenklassen erfolgte durch Weber (1903) die Einteilung in drei Moorklassen: „Indem ich mit Rücksicht auf die Kartierung nur die Verhältnisse unseres Gebietes im gegenwärtigen geologischen Zeitalter berücksichtige, verstehe ich unter einem Hochmoor ein Moor, das unmittelbar unter der Rohhumus- oder Streudecke eine geschlossene, im entwässerten Zustande mindestens 20 cm mächtige Schicht von Sphagnumtorf aufweist oder dessen oberste, wenigstens 20 cm geschlossene Schicht aus Sphagnumtorf und seinem mehr oder weniger moderartigen Verwitterungsprodukt besteht“.

„Ein Übergangsmoor (Zwischenmoor) ist ein Moor, das mit einer geschlossenen, im entwässerten Zustande mindestens 20 cm mächtigen Schicht von Birkentorf, Föhrentorf, *Scheuchzeria*-Hypnumtorf oder *Carex-rostrata*-Sphagnumtorf bedeckt ist“.

„Ein Flachmoor (Niedermoor, Niederungsmoor) ist ein Moor, das mit einer geschlossenen, im entwässerten Zustande mindestens 20 cm mächtigen Schicht von Erlentorf (Bruchwaldtorf), Seggentorf, Schilftorf oder Muddetorf bedeckt ist“. Die natürliche Moorvegetation dient dem kar-

tierenden Geologen als Hilfsmittel zur Orientierung. Steinbrück (1910) konnte diese Systematik bei der statistischen Aufnahme der Moore im Kreis Cammin in Pommern anwenden“.

4.1.2 Die Kartierung des Großen Moosbruches

Zur Anwendung aller bis dahin gemachten Erfahrungen zur Moorkartierung und Erkundung der Moorsubstrate bis zum mineralischen Untergrund wurden das Große Moosbruch in Ostpreußen und das Kehdinger Moor an der Unterelbe ausgewählt.

Im Großen Moosbruch wurde diese Moorbodenaufnahme von Dr. A. Klautzsch in den Jahren 1903 und 1905 durchgeführt. Klautzsch (1906) (Abb. 3) schreibt dazu: „Die Arbeiten wurden in der Art ausgeführt, daß anhand eines quadratischen, nach den Himmelsrichtungen orientierten Liniennetzes mit 400 m Seitenlänge die ganze Moorfläche systematisch mittels eines Tellerbohrers abgebohrt und die Art und Mächtigkeit der einzelnen, jeweilig anstehenden Torfschicht festgestellt wurde. Die Ergebnisse dieser Bohrungen von 400 zu 400 m und der zur Festlegung der geologischen Abgrenzung nötigen Zwischenbohrungen wurden auf einer besonderen Bohrkarte im Maßstab 1 : 25 000 eingetragen, wobei die Mächtigkeit der Schichten in Dezimetern angegeben ist. Die geologische Karte selbst, im gleichen Maßstab gehalten, zeigt das Bild der Oberflächenverbreitung der einzelnen unterschiedlichen Torfarten und ihre gegenseitige Auflagerung sowohl bis auf 2 m Tiefe als auch bis zum Untergrund. In einem Abstand von je 1 200 m ist außerdem das jeweilige Bohrprofil angegeben, bei den dazwischenliegenden Punkten des Bohrliniennetzes nur die Gesamtmächtigkeit des Torfes und die Art des mineralischen Untergrundes. Gleichzeitig wurde auch nach den sonst bei den geologischen Aufnahmen der Königlichen Geologischen Landesanstalt üblichen Methoden das in dem bearbeiteten Gebiet liegende diluviale Festland kartiert, so dass man auch hier Oberflächenverbreitung und Mächtigkeit der einzeln beobachteten Bildungen und ihre gegenseitige Überlagerung bis auf 2 m Tiefe erkennt.
Die im Großen Moosbruch festgestellten moorkundlichen Befunde wurden auf der Geologischen Karte im Maßstab 1 : 50 000 dargestellt. Zur Einordnung der Höhenlage des Moores erfolgten Vermessungsarbeiten, aus deren Ergebnissen eine Höhenschichten- und Untergrundkarte im gleichen Maßstab angefertigt wurde“.
Klautzsch (1906) beschreibt die Handhabung folgendermaßen: „Die bei diesen Arbeiten ausgeführten Nivellements und Peilungen wurden seitens der damit betrauten Beamten über den ganzen zentralen Teil des Großen Moosbruches ausgedehnt, d. h., daß zwischen der Laukne im Norden, der Parve im Osten, der Timber im Westen und dem mit Wald bestandenen südlichen Teil der Königlichen Forst Mehlauken liegende Gebiet. Sie ergeben ein gutes Bild der Oberfläche und des Untergrundes dieses Teiles des Großen Moosbruches“.

Gleichzeitig erfolgte die Beschreibung der Pflanzendecke des Großen Moosbruches. Dabei wurden die wichtigsten Torfmoorpflanzen aufgenommen und für die Zuordnung des jeweiligen Standortes im System der Torfmoore herangezogen. Die Pflanzenbestände der Moore bildeten für Klautzsch (1906) ein wichtiges Kriterium für die Einteilung der ökologischen Moortypen in Flach-, Übergangs- und Hochmoore. Diese Herangehensweise war dann für spätere Mooruntersuchungen Vorbild.

Das ca. 15 000 ha umfassende Große Moosbruch wurde von Klautzsch (1906) also nicht vollständig untersucht, sondern, wie beschrieben, nur der zentrale Teil zwischen den Flüssen Laukne, Parve und Timber, sowie dem südlichen Waldgebiet.
Die aktuell kartierte Fläche (siehe Kap. 4.2) umfaßt 9 000 ha, die sich auf folgende ökologische Moortypen verteilt: 3 100 ha Niedermoor (Flachmoor), 1 400 ha Übergangsmoor und 4 500 ha Hochmoor. Die Flächen wurden im Jahre 2005 durch Planimetrieren der Klautzsch’schen Geologischen Karte des Großen Moosbruches i. M. 1 : 50 000 (Abb. 2) ermittelt. In dieser Karte wird zwischen den Mächtigkeiten der obersten Torfschicht mehr als 20 dm und weniger als 20 dm unterschieden. Daraus ergeben sich die verschiedenen Schichtungsverhältnisse der bodenkundlichen Torfartengruppen ohne Berücksichtigung des unter den Torfen liegenden Muddebandes:

Hochmoortorf über dem mineralischen Untergrund
Hochmoortorf über Übergangsmoortorf
Hochmoortorf über Übergangsmoortorf über Niedermoortorf
Übergangsmoortorf über dem mineralischen Untergrund
Übergangsmoortorf über Niedermoortorf
Niedermoortorf über dem mineralischen Untergrund
Niedermoortorf mit mineralischen Einlagerungen.

Mit Hilfe der Klautzsch’schen Höhenschichtenkarte i. M. 1 : 50 000 lassen sich die ökologischen Moortypen höhenmäßig zuordnen. Das Niedermoor (Flachmoor) liegt in einem Höhenbereich von 0,5-2 m über NN, gefolgt vom Übergangsmoor, das im Höhenbereich 2-3,5 m über NN liegt. Der zentrale Teil des Großen Moosbruches, das Hochmoor, liegt in einem Höhenbereich von 3,5-6 m NN.
Zur Einschätzung des Zustandes des zentralen Hochmoores schrieb Klautzsch (1906): „Alle diese Moorbereiche zeigen aber nur noch teilweise den unvermischten Charakter des Hochmoores; die fortschreitende Kolonisation und der intensive Forstbetrieb haben Entwässerungsanlagen geschaffen, so daß im Laufe der Zeit das Bild dieser Moorflächen zum guten Teil völlig verändert wurde. Wirkliche, von der Kultur noch unberührte Moorflächen finden sich nur noch vereinzelt.
Im zentralen Teil des Großen Moosbruches, im Bereich der Kolke und Blänken ist noch eine Torfmoosdecke aus Spitzigem Torfmoos (*Sphagnum cuspidatum)* vorhanden. In diese Bestände eingemischt erscheinen aber auch Blasenbinse (*Scheuchzeria palustris)*, Gewöhnliche Rasenbinse *(Tricho-*

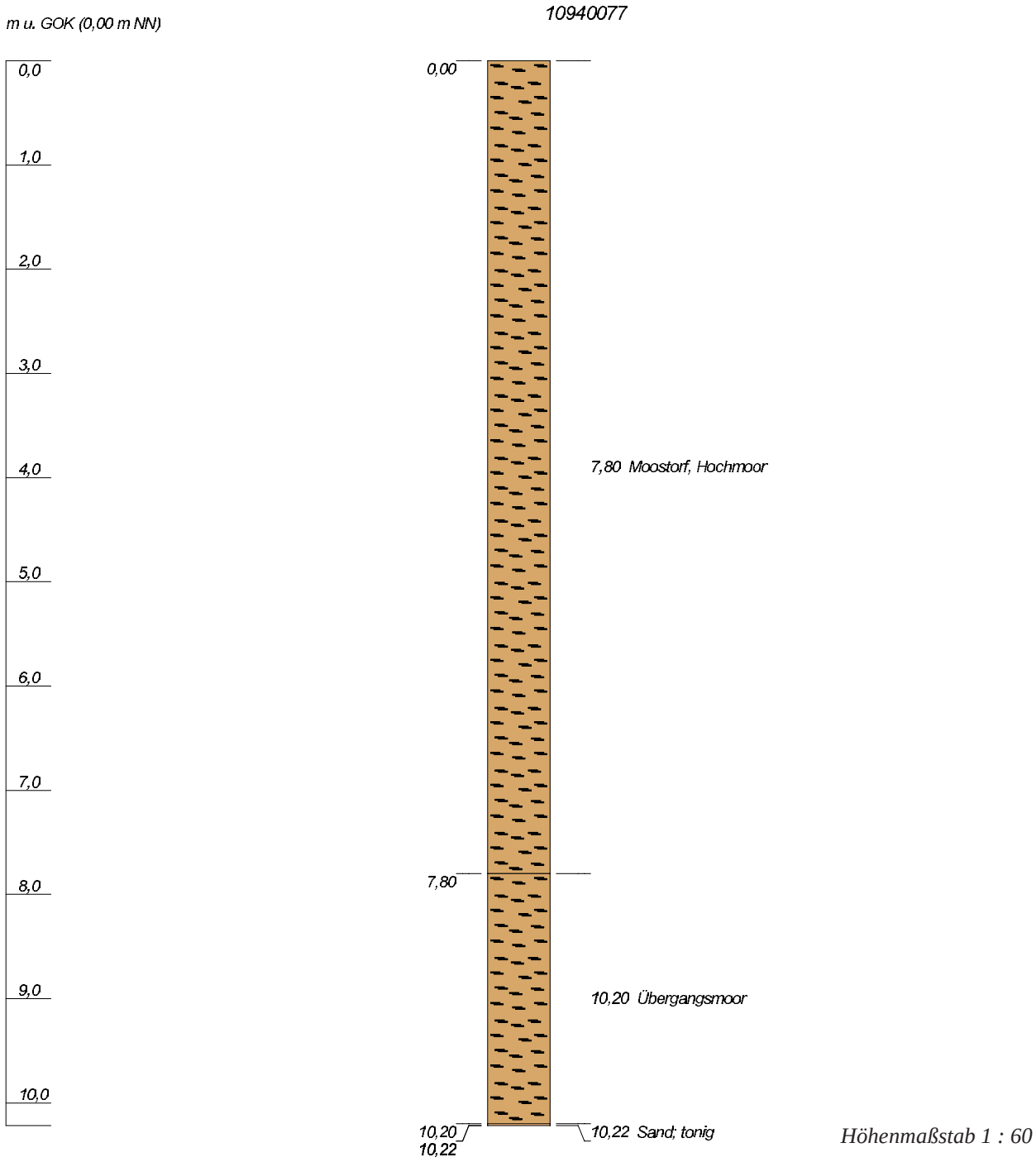


Abb. 4 Moorprofil im Großen Moosbruch (1905)
Fig. 4 Bog profile in the Großes Moosbruch (1905)

phorum cespitosum), Weißes Schnabelried (*Rhynochspora alba)*, Rund- und Langblättriger Sonnentau (*Drosera rotundifolia, longifolia)*, sowie Scheidiges Wollgras (*Eriophorum vaginatum)*. Wo der Einfluss der Kultivierung schon stärker spürbar war, stellte sich das Hochmoor als *Sphagnetum-Callunetum* oder auch als *Sphagneto-Pineto-Callunetum* dar. Zahlreiche Bulte sind von Heidekraut (*Calluna vulgaris)* besiedelt und haben die Torfmoose (*Sphagnen)* stark zurückgedrängt und man kann sagen, die Verheidung ist schon stark vorangeschritten (Abb. 6). In den Bereichen, wo mehr Krüppelkiefern im Bestand vorhanden sind, bilden die Heidebulte kleine Ringwälle, in deren Mitte häufig eine Krüppelkiefer steht".

Das Übergangsmoor ist nach KLAUTZSCH (1906) durch einen Übergangsbruchwald gekennzeichnet, der hauptsächlich aus Kiefern *(Pinus)* und Birken *(Betula)* besteht. Die

Pflanzendecke des Unterwuchses setzt sich aus Bulten von Torfmoosen (*Sphagnen)* oder Kissenmoos (*Leucobryum)* zusammen, die oft von Moosbeeren *(Oxycoccus)* überzogen sind. Nach dem Hochmoor hin wird der Wald lichter, hainartig und schließlich krüppelhaft. Zum Niedermoor hin schieben sich Schilfbestände zwischen die hier zahlreicher vorhandenen Birken.
Zum Pflanzenbestand des Niedermoores führt KLAUTZSCH (1906) weiterhin aus, dass dieser sich durch die Kultivierungsmaßnahmen völlig verändert hat. Sauergräser (*Cyperacae)* sind im Grünland jedoch noch reichlich vorhanden. Bei geringer Moormächtigkeit und Geschiebemergel im Liegenden tritt vermehrt Schachtelhalm (*Equisetum)* auf. Allgemein sind Seggen (*Carex)*-Bulten weit verbreitet. Es finden sich weiterhin Igelkolben (*Sparganium)*, Rohrkolben (*Typha)*, Simsen (*Scirpus)*- und Binsen (*Juncus)*-Arten, Ampfer (*Rumex)*, Knöterich (*Polygonum)*, Kuckuckslichtnelke (*Lychnis flos cuculi)*, Mädesüß *(Filipendula ulmaria)*, Sumpfherzblatt (*Parnassia)*, Hahnenfuß (*Ranunculus)*, Klappertopf (*Rhinantus)* und Sumpfläusekraut (*Pedicularis)*. Außerhalb des Grünlandes stockt auf dem Niedermoor ein Erlenbruchwald *(Alnus)*.

Die Torfarten werden von KLAUTZSCH (1906) dahingehend charakterisiert, dass der Hochmoortorf im Zentrum des Großen Moosbruches fast unzersetzt ist und aus dem jüngeren Moostorf besteht. Der ältere, in Nordwestdeutschland verbreitete, hoch zersetzte Moostorf fehlt ebenso wie der Grenzhorizont zwischen beiden. Die gleiche Beobachtung konnte WEBER (1902) bei seinen Untersuchungen im Augstumalmoor im Memeldelta machen. Für den Hochmoortorfkörper wies KLAUTZSCH (1906) die Torfarten Sphagnumtorf, Eriophorumtorf-Sphagnumtorf und Scheuchzeria-Sphagnumtorf aus.

Der Bereich zwischen dem Hoch- und dem Niedermoor wird vom Übergangsmoor (Zwischenmoor) gebildet, wobei Übergangsmoortorfe den Hochmoorbereich auch unterlagern. KLAUTZSCH (1906) weist hier Übergangswaldtorf, Übergangsgrastorf und Übergangsscheuchzeriatorf aus. Der Niedermoortorf (Flachmoortorf), der das Niedermoor entlang der Flüsse bildet und auch partiell unter dem Übergangsmoor liegt, wird von KLAUTZSCH (1906) als Flachmoorgrastorf und Bruchwaldtorf charakterisiert. Diese Beschreibung der Torfarten geht in modifizierter Form auf die Einordnungskriterien der Torfe von WEBER (1902) zurück. Mit der Vorgehensweise bei der Kartierung im Großen Moosbruch erfüllt KLAUTZSCH (1906) fast alle Kriterien, die später in der Richtlinie für Mooruntersuchungen niedergelegt wurden (Abb. 4).

Eine erste Richtlinie für die praktisch-geologische Mooruntersuchung wurde von KEILHACK (1916) erstellt. Dafür wies er 6 Punkte aus, die bei der Durchführung der Moorbodenaufnahme unbedingt zu berücksichtigen waren:

1. Gestalt (Umrissform)
2. Mächtigkeit (Gestalt des Untergrundes)
3. Beschaffenheit des Untergrundes
4. Aufbau des Torfmoores
5. Lebende Pflanzendecke und Art der Torfmoore
6. Besondere Erscheinungen

Entscheidend war die Festlegung, dass die Moore bis zum mineralischen Untergrund bzw. einige Dezimeter von diesem zu untersuchen waren. Je unebener der mineralische Untergrund eines Moores ist, umso dichter sollte das Bohrnetz sein. Die Anleitung von KEILHACK (1916) für die geologische Kartierung von Mooren wurde durch v. BÜLOW (1928) modifiziert. In dieser Anleitung ist eine Klassifizierung der Torfe und Mudden enthalten. Es wird außerdem die zehnteilige Skala des Zersetzungsgrades der Torfe nach v. POST (1924) erläutert, deren Anwendung bis heute in der Torfansprache unerläßlich ist.

4.2 Untersuchungen im Jahre 2005

Die Arbeitsgrundlage für die aktuelle Moorbodenkartierung bildeten die oben dargelegten Ergebnisse von KLAUTZSCH (1906). Als Feldkarte wurde das Meßtischblatt Nr. 1094 (Lauknen, 1914) im Maßstab 1 : 25 000 verwendet.
Die Moorbodenansprache erfolgte nach den Richtlinien der Bodenkundlichen Kartieranleitung, 5. Auflage (2005). Der Atlas der Pflanzenreste im Torf nach KATZ, N. & S. KATZ (1933) und die Vegetationskunde Ostpreußens von STEFFEN (1931) gaben wertvolle Hinweise. Für die Felduntersuchungen wurden die Bohrtrassen A und B (Abb. 2) festgelegt.

Die Einmessung der Bohrpunkte wurde mit dem russischen Nivelliergerät Modell N-10 vorgenommen und die Bestimmung der geographischen Koordinaten der Bohrpunkte mit dem GPS-Gerät „Garmin". Später erfolgte grafisch die Übertragung in geodätische Koordinaten nach GAUß-KRÜGER. Mit der polnischen Klappsonde und dem russischen Torfbohrer Modell TGB-66 erfolgte die Untersuchung der Moorprofile bis zum mineralischen Untergrund. Zur Ansprache der oberen Substrate und Horizonte wurde vorher ein Flachschurf bis 50 cm Tiefe aufgegraben.

Bei der Profilansprache wurden die Torf- und Muddeart, der Zersetzungsgrad der Torfe bzw. die Muddekonsistenz, die Art der Beimengungen, die Horizonte und die Farbe der Substrate aufgenommen. Aufgrund der Befunde erfolgte eine bodenkundliche Einordnung der Profile in die Moorsystematik. Im Bereich der Bodenprofile wurden die wichtigsten Vertreter der lebenden Pflanzendecke aufgenommen (Abb. 6). Zur Bestimmung des Aschegehalts der Torfe und zur Pollenanalyse wurde die Entnahme von Beutelproben vorgenommen. Während der Kartierungsarbeiten wurden 10 Bodenprofile untersucht, davon 8 auf der Trasse A und zwei auf der Trasse B.

Die Kartierung im Jahre 2005 begann mit der Einrichtung der Profillinie A. An einem Pfeiler der 1945 gesprengten Lauknebrücke wurde eine provisorische Höhe entnom-

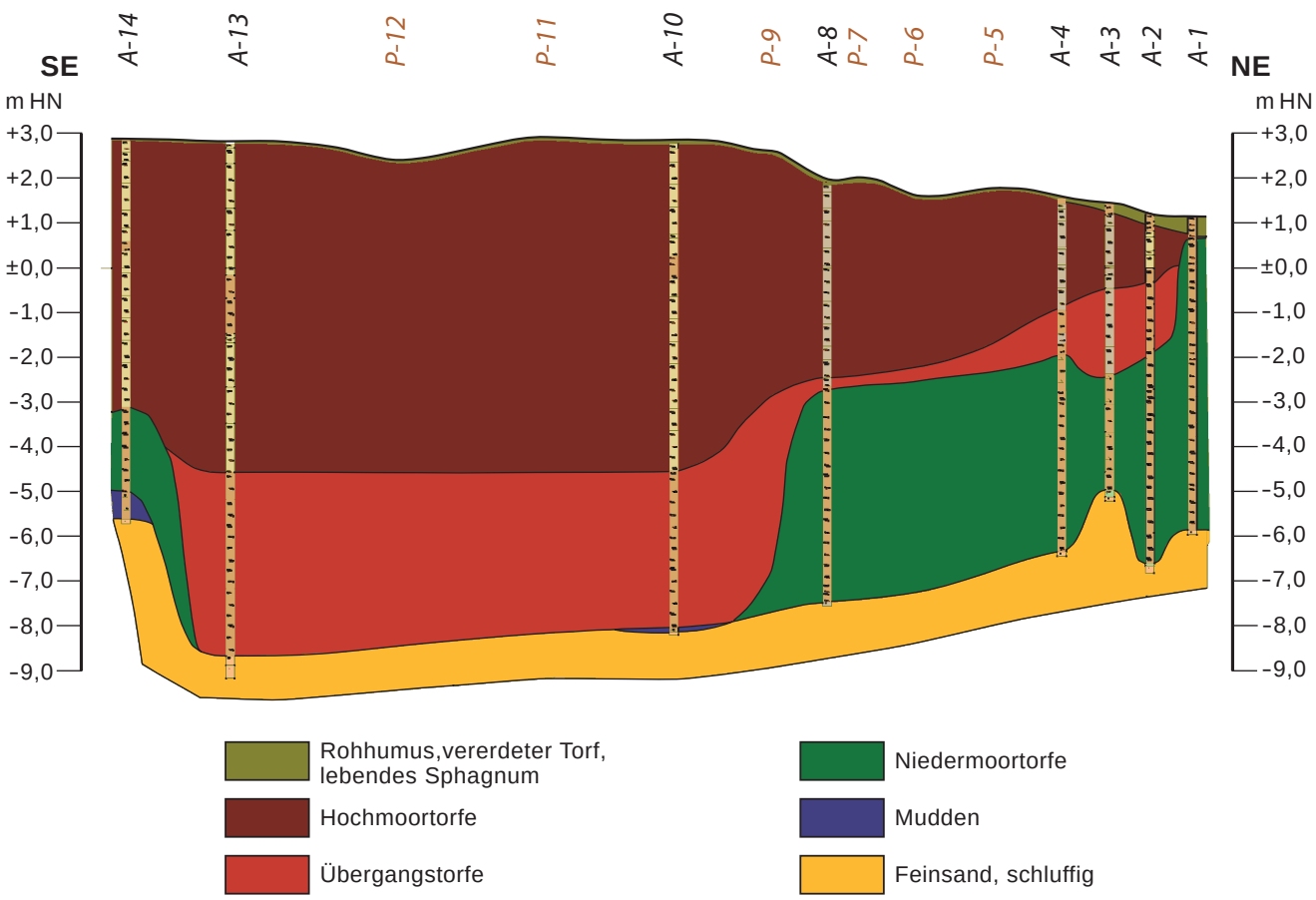


Abb. 5 Profil-Linie A zwischen den Bohrpunkten 1 und 14
Fig. 5 Profil-line A between drill holes 1 and 14

Abb. 6 Verheidete Hochmoorfläche
Fig. 6 Heathed high moor area

men. Unweit der Lauknebrücke, an der Wegekreuzung, wo einst eine Schule stand, wurde mit der Profillinie A begonnen und diese in Richtung Moorblänken und Teiche geführt. Im ersten Arbeitsgang erfolgten Höhen- und Entfernungsermittlung der vorgesehenen Bohrpunkte. In der Abbildung 5 ist das Transekt der Profillinie 2 dargestellt. Es hat eine Länge von 2 795 m. Auf dieser Strecke wurden 20 Bohrpunkte eingemessen. Es konnten jedoch aus Zeitgründen nur 8 Bohrungen in unterschiedlichen Abständen ausgeführt werden. Da Dickicht die Arbeiten behinderte, wurde 40 m von der Wegekreuzung entfernt die Bohrung A 1 niedergebracht.

Das Moorprofil A 1 besteht nur aus Niedermoortorfen. Bedingt durch frühere Entwässerungen ist der Vererdungshorizont 2,5 dm mächtig und sein Aschegehalt beträgt 53 M %. Pollenanalytische Untersuchungen von Strahl (2005) ergaben, dass dieser Horizont dem Jüngeren Subatlantikum zuzuordnen ist. Danach folgen 2 dm aggregierter Torf. Es schließen sich bis in eine Tiefe von 10 dm Laubmoostorfe an. Bis 69 dm folgen dann Radizellentorfe, die zwischen 30 und 32 dm von einem Erlenbruchwaldtorfband unterbrochen sind. Zwischen 46 und 49 dm Tiefe sind Schilftorfe eingemischt. Unter den Torfen liegt 1 dm Tonmudde und den mineralischen Untergrund bildet schwach schluffiger Sand. Das Grundwasser stand 2 dm unter Gelände. Die Vegetation besteht aus einem 60jährigen Erlen-*(Alnus)*-Bruchwald mit Sommerlinde (*Tilia platyphyllos)*, Roter Johannisbeere (*Ribes rubrum)*, Himbeere (*Rubus idaeus)*, Hopfen (*Humulus lupulus)*, Wasserschwertlilie (*Iris pseudacorus)*, Großer Brennnessel (*Urtica dioica)*, Pfeifengras (*Molinia caerulea)*, Binsen-(*Juncus)*-Arten und Seggen-(*Carex)*-Arten.

Im Gang der Profillinie A trat nach 132 m am Bohrpunkt A 2 eine völlige Veränderung der Torfartenzusammensetzung ein. Bis 20 dm liegen Bleichmoostorfe in Gemengelage mit Wollgrastorfen. Der Vererdungshorizont hat hier eine Mächtigkeit von 1,5 dm. Kiefernbruchwaldtorfe finden sich bis in eine Tiefe von 30 dm. Danach folgen in Wechsellage Schilf-, Radizellen- und Erlenbruchwaldtorfe bis 78 dm. Die unterste Schicht besteht aus 1 dm Schluffmudde. Den mineralischen Untergrund bildet Feinsand. Das Grundwasser stand 7 dm unter Gelände. Hier dominiert ein Birkenwald *(Betula)* mit Vogelbeere (*Sorbus aucuparia)*, Hopfen (*Humulus lupulus)*, Kohldiestel (*Cirsium oleraceum)*, Großer Brennnessel (*Urtica dioica)*, Wiesenkerbel (*Anthriscus sylvestris)*.

Am Bohrpunkt A 3, nach 233 m, ist eine Förna-Auflage von 0,5 dm vorhanden. Der Vererdungshorizont ist 1,5 dm mächtig. In der Torfartenzusammensetzung ergaben sich Analogien zum Bohrpunkt A 2. Bis 19 dm liegen Bleichmoostorfe, die teilweise Wollgrastorfe als Mischungspartner enthalten. Danach folgen bis 38 dm Kiefernbruchwaldtorfe. Darunter liegen in Wechsellage Schilf-, Radizellen- und Erlenbruchwaldtorfe bis in eine Tiefe von 64 dm. Den Torfen folgt eine 1,5 dm mächtige Schluffmudde. Feinsand bildet den mineralischen Untergrund. Grundwasser war nicht zu ermitteln. Auch hier stockt ein Birkenwald *(Betula)* mit Vogelbeere (*Sorbus aucuparia)*, Traubenkirsche (*Prunus padus)*, Pfeifengras (*Molinia caerulea)* und Dorniger Wurmfarn (*Dryopteris carthusiana)*.

Der Bohrpunkt A 4 nach 331 m hat eine Auflage von 0,5 dm Förna, danach folgt ein 1,3 dm mächtiger Vererdungshorizont mit 1,8 M % Aschegehalt. Die Entstehung dieses Torfes fällt nach Strahl (2005) ebenfalls in die Zeit des Jüngeren Subatlantikums. In der weiteren Schichtung wechseln reine Bleichmoostorfe mit Mischtorfen aus Bleichmoos- und Wollgrastorfen. Nach 25 dm bis 32,5 dm folgen Kiefernbruchwaldtorfe. Daran schließen sich Radizellentorfe und Mischtorfe aus Radizellen und Schilf an. In den tieferen Schichten bis 79 dm wechseln Erlenbruchwald- und Radizellentorfe. Unter den Torfen liegt eine 1 dm mächtige Schluffmudde. Der mineralische Untergrund besteht aus Feinsand. Grundwasser konnte nicht ermittelt werden. In der Umgebung des Profils stockt ein Erlen-Birkenwald *(Alnus-Betula)* mit Vogelbeere (*Sorbus aucuparia)*, Traubenkirsche (*Prunus padus)* und Schwarzpappel (*Populus nigra)*. Teilweise bodendeckend ist Pfeifengras (*Molina caerulea)* vorhanden. In feuchten Geländevertiefungen wachsen Torfmoos-(*Sphagnum)*-Arten.

Beim Bohrpunkt A 8, nach 812 m, beträgt die Förnaauflage 1 dm. Darunter folgt ein 0,5 dm mächtiger Vererdungshorizont. Die daran anschließenden Bleichmoostorfe reichen bis in eine Tiefe von 40 dm, ihnen folgen bis 46 dm Kiefernbruchwaldtorfe. Bis 94 dm reichen in Wechsellagerung Radizellen-, Schilf- und Erlenbruchwaldtorfe. An der Profilbasis liegt 1 dm Schluffmudde. Der mineralische Untergrund besteht aus Feinsand. In der Umgebung des Bohrpunktes A 8 stockt Birkenwald *(Betula)* mit Vogelbeere (*Sorbus aucuparia)*, Traubenkirsche (*Prunus padus)*, Fichte (*Picea abies)*, Pfeifengras (*Molinia caerulea)* und Einfacher Rautenfarn (*Botrychium simplex)*.

Der Bohrpunkt A 10, nach 1 157 m, wurde bereits auf dem waldfreien Hochmoor niedergebracht. Die oberste Schicht besteht aus einer 1 dm mächtigen Bleichmoosrohtorfauflage, es folgen bis in 10 dm Tiefe Bleichmoostorfe, die nach Strahl (2005) wiederum dem Jüngeren Subatlantikum zuzuordnen sind. Der Aschegehalt beträgt 3,7 M %. Darunter liegen bis 31 dm Mischtorfe aus Bleichmoos- und Wollgrastorfen. Eine Probe aus 27 dm Tiefe erbrachte ein Subboreales Alter (Strahl 2005). Danach folgen Bleichmoostorfe bis 74 dm.

Unter den Bleichmoostorfen lagern bis in eine Tiefe von 109 dm Kiefernbruchwaldtorfe, deren Basis (bei 108 dm) altersmäßig dem Präboreal entspricht. Den Abschluss bildet eine 2 dm mächtige Detritusmudde über mineralischem, aus Feinsand aufgebautem Untergrund. Das Grundwasser befand sich bei 4 dm unter Gelände. Die Pflanzendecke weist folgende Zusammensetzung auf: Krüppelkiefer (*Pinus sylvestris)*, Moorbirke (*Betula pubescens)*, in beiden Fällen kleine Einzelexemplare, Heidekraut (*Calluna vulgaris)*, Rosmarinheide (*Andromeda polifolia)*, Gemeine Moosbeere (*Oxycoccus palustris)*, Blasenbinse (*Scheuchzeria palustris)*, Scheidiges Wollgras (*Eriophorum vaginatum)*, Schlammsegge (*Carex limosa)*, Lang- und Rundblättriger Sonnentau (*Drosera longifolia*, *-rotundifolia)* und Torfmoos-(*Sphagnum)*-Arten (Abb. 7).

Abb. 7 Langblättriger Sonnentau
Fig. 7 Long-leaved sundew

Am Bohrpunkt A 13, nach 1 834 m, wurde die größte Moormächtigkeit erreicht. Die Bleichmoosrohtorfauflage beträgt hier 0,5 dm. Bis 44 dm wechseln sich reine Bleichmoostorfe mit Mischtorfen aus Bleichmoos- und Wollgrastorfen in Gemengelage mehrmals ab. Darunter liegen bis 74 dm Bleichmoostorfe und bis 80 dm folgen Mischtorfe aus Bleichmoos- und Laubmoostorfen. Nachfolgend reichen Kiefernbruchwaldtorfe, die teilweise den Charakter von Stammholz haben, bis 115 dm. Die Torfe liegen auf 2 dm Feinsand, dem eine Schluffmuddeschicht bis in 120 dm Tiefe folgt. Der mineralische Untergrund wird aus Feinsand gebildet. Grundwasser wurde bei einem Dezimeter unter Gelände ermittelt. Die Vegetation besteht aus: Krüppelkiefer (*Pinus sylvestris),* Moorbirke *(Betula pubescens),* Glockenheide *(Erica tetralix),* Trunkelbeere (*Vaccinium uliginosum),* Sumpfporst (*Ledum palustre),* Gemeine Moosbeere (O*xycoccus palustris),* Scheidige Wollgras (*Eriophorum vaginatum),* Schlammsegge (*Carex limosa),* Rundblättriger Sonnentau (*Drosera rotundifolia),* Steifes Widertonmoos (*Polytrichum strictum),* Torfmoos-(*Sphagnum)*-Arten und Moltebeere (*Rubus chamaemorus)* (Abb. 8).

Die Bohrung A 14, nach 2 038 m, wurde im Bereich der Teiche und Blänken niedergebracht. Nach einer 0,5 dm mächtigen Bleichmoosrohtorfauflage liegen bis 10 dm Mischtorfe aus Bleichmoos- und Wollgrastorfen, bis 23 dm reine Bleichmoostorfe. Darunter folgen bis 35 dm in Gemengelage Bleichmoos- und Wollgrastorfe und dann bis 60 dm reine Bleichmoostorfe. Die unterlagernden Niedermoortorfe sind durch Speisung nährstoffreicher Wässer aus dem Untergrund entstanden. Bis 68 dm liegen Radizellen-Schilf-Mischtorfe, während danach bis 79 dm reine Radizellentorfe folgen. Die unter den Torfen liegende Schluffmudde hat eine Mächtigkeit von 6 dm. Der mineralische Untergrund wird von Feinsand gebildet. Der Grundwasserstand lag bei 1 dm unter Gelände. Von der Vegetationsdecke wurden folgende Arten aufgenommen: Krüppelkiefer (*Pinus sylvestris),* Sumpfporst (*Ledum palustre),* Glockenheide (*Erica tetralix),* Rosmarinheide (*Andromeda polyfolia),* Gemeine Moosbeere (O*xycoccus palustris),* Rasenbinse (*Scirpus caespitosus),* Fichte (*Picea abres),* Scheidiges Wollgras (*Eriophorum vaginatum),* Torfmoos-(*Sphagnum)*-Arten und Rundblättriger Sonnentau (*Drosera rotundifolia).*

Auf der Profillinie B ab der Straße Lauknen-Ausbau wurden zwei Bohrungen niedergebracht. Die Entfernung zum vorgesehenen Bohrpunkt B 1 betrug 736 m. Die erste Bohrung erfolgte jedoch am Punkt B 3, der 290 m davon entfernt lag. Nach 0,5 dm Bleichmoosrohtorfauflage folgt 0,5 dm amorpher Torf. Darunter liegen bis in eine Tiefe von 7 dm Bleichmoostorfe. Es folgen bis 40 dm in Wechsellage Wollgras- und Bleichmoostorfe. Diese wiederum werden von reinen Bleichmoostorfen, die bis in eine Tiefe von 49 dm reichen, unterlagert. Bis in eine Tiefe von 59,5 dm folgen Kiefernbruchwaldtorfe. Unter den Torfen liegen 0,5 dm Tonmudde. Der mineralische Untergrund besteht aus Feinsand. Der Grundwasserstand lag bei 3,5 m unter Gelände. Die Vegetation besteht aus: Krüppelkiefer (*Pinus sylvestris),* Moorbirke (*Betula pubescens),* Heidekraut (*Calluna vulgaris),* Rosmarinheide (*Andromeda polyfolia),* Schlammsegge (*Carex limosa)* und Torfmoos-(*Sphagnum)*-Arten.

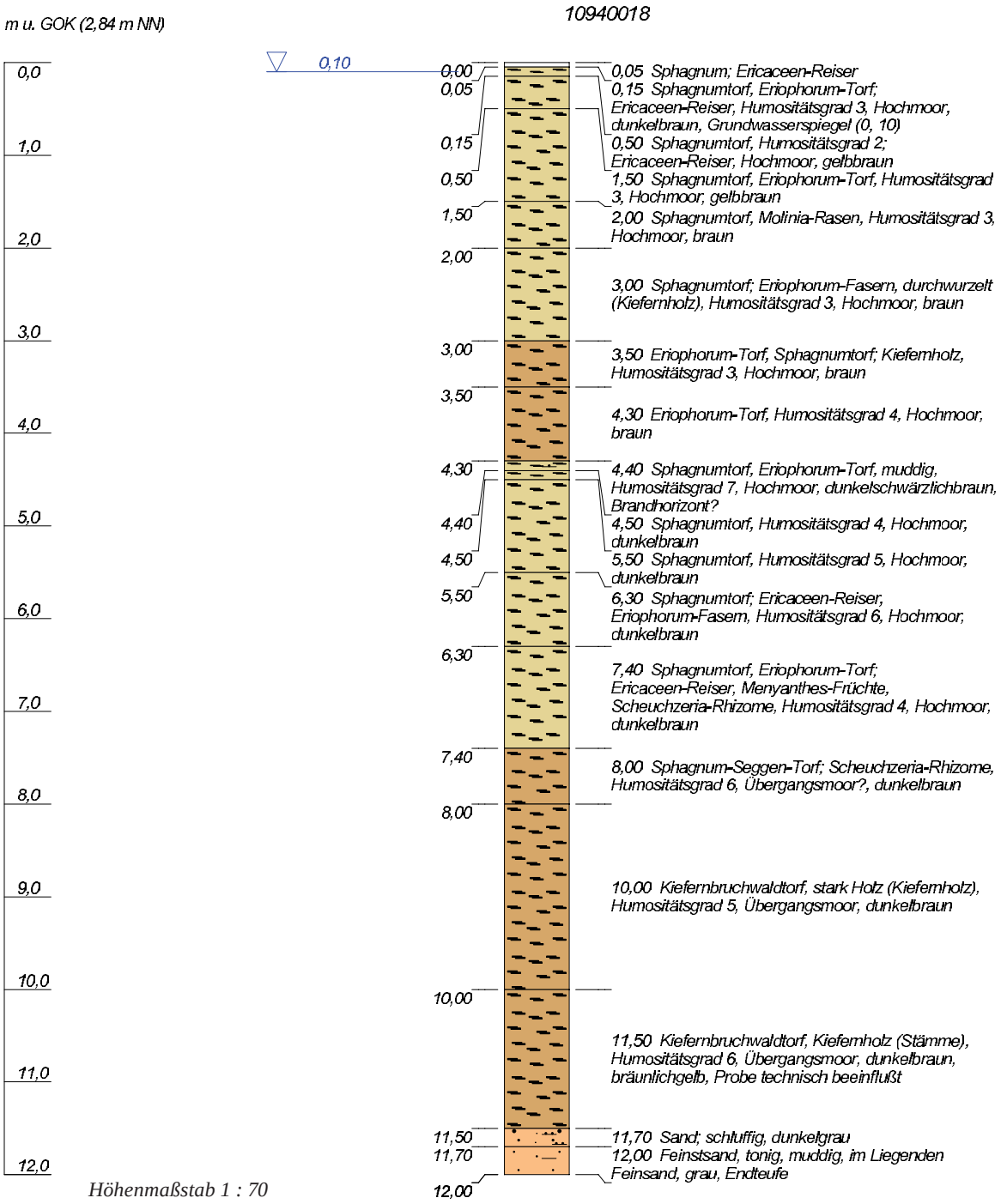


Abb. 8 Moorprofil im Großen Moosbruch (2005)
Fig. 8 Bog profile in the Großes Moosbruch (2005)

Die zweite Bohrung auf der Profillinie B erfolgte am Bohrpunkt B 5, der 732 m vom vorgesehenen Bohrpunkt B1 entfernt lag. Auf 0,5 dm Bleichmoosrohtorf folgt bis in eine Tiefe von 15 dm Bleichmoostorf, der zwischen 3 und 3,5 dm von einer amorphen Torfschicht unterbrochen wird. Unter dem Bleichmoostorf liegen in Wechsellage Wollgras- und Bleichmoostorfe bis in eine Tiefe von 52 dm und danach folgen Kiefernbruchwaldtorfe bis 69 dm. Eine 1 dm mächtige Tonmudde liegt unter den Torfen. Den mineralischen Untergrund bildet Feinsand. Der Grundwasserstand wurde bis 1,5 dm unter Gelände festgestellt. Die Vegetation besteht aus: Krüppelkiefer (*Pinus sylvetris)*, Moorbirke *(Betula pubescens)*, Sumpfporst (*Ledum palustre)*, Heidekraut (*Calluna vulgaris)*, Rosmarinheide (*Andromeda polyfolia)*, Scheidiges Wollgras (*Eriophorum vaginatum)*, Steifes Widertonmoos (*Polytrichum strictum)*, Trunkelbee-

Abb. 9 Kolk im zentralen Hochmoor
Fig. 9 Kolk in the compact section of high moor

re (*Vaccinium uliginosum),* Schlammsegge (*Carex limosa),* Torfmoos-(*Sphagnum)-Arten* und Rundblättriger Sonnentau *(Drosera rotundifolia).*

5. Schutzwürdigkeit des Großen Moosbruches

Die moorkundlichen Untersuchungen von KLAUTZSCH (1906) in den Jahren 1903/05 erbrachten bereits vor 100 Jahren das Ergebnis, dass das Große Moosbruch auf Grund seines Aufbaus eine hohe Schutzwürdigkeit besitzt. Bei dieser Moorbodenaufnahme wurden die bodenkundlichen Torfartengruppen Nieder-, Übergangs- und Hochmoor ermittelt, die Pflanzendecke kartiert und die Höhenverhältnisse bestimmt. Unsere in kleinem Umfang vorgenommenen Untersuchungen im Jahre 2005 haben die bodenkundliche Torfartenansprache von KLAUTZSCH (1906) im Wesentlichen bestätigt. Dabei nahmen wir eine weitere Unterteilung in Torfarten und Torfartenuntereinheiten vor. Die Vegetation der Randbereiche hat sich völlig verändert. Auf den ehemaligen landwirtschaftlichen Nutzflächen stockt heute fast überall ein 60jähriger Wald. Die Pflanzendecke des zentralen, naturnahen Hochmoores blieb dagegen gleich (Abb. 9). Nach LEHMANN (2003) wurde das Große Moosbruch mit einer Fläche von 14 800 ha im Jahr 1994 unter Naturschutz gestellt. Für die hohe Schutzwürdigkeit des Großen Moosbruches sprechen gewichtige Argumente. Es sind dies einmal der konzentrische Aufbau des Moores mit Anteilen von Nieder-, Übergangs- und Hochmoor und zum anderen die Größe des Moorkomplexes. Weiterhin ist es die relative Naturbelassenheit des Kerngebietes und der Fortfall der landwirtschaftlichen Nutzung der Randbereiche seit 1945, sowie die danach einsetzende Bewaldung dieser Flächen. Die dünne Besiedlung des Landes und die relative Abgelegenheit des Moores können einen hohen Nutzungsdruck verhindern, wenn die Torfindustrie Zurückhaltung übt.

Überträgt man die Richtlinien zum Schutz der Bodenfunktionen in Niedermooren nach ZEITZ et al. (1997) auf das Große Moosbruch, so kann man diesem Moorgebiet die Schutzprioritätsklasse 1 zuweisen. Die Vorgehensweise ist dergestalt, dass Moormächtigkeit und Substrattyp den ökologischen Bodenwert ergeben. Weiterhin werden Natürlichkeit, Seltenheit und Repräsentativität zur Gefährdung zusammengefaßt. Der ökologische Bodenwert und die Gefährdung ergeben schließlich die Schutzpriorität.

Für künftige Untersuchungen im Großen Moosbruch ist es wichtig, dass drei Profillinien (Transekte) quer durch das Moor gelegt werden, um einen umfassenden Überblick zum jetzigen Zustand zu gewinnen. Unsere Arbeiten haben ergeben, dass ein solches Vorhaben mit studentischer Unterstützung durchführbar ist. Wichtig ist es, eine Pollenanalyse der Substrate von mindestens einem vollständigen Moorprofil durchzuführen, in der neben den Baum- und Nichtbaumpollen vor allem die Kulturanzeiger berück-

sichtigt werden. Somit lassen sich der Beginn und Verlauf der Moorbildung, zeitliche klimatische und hydrometerologische Schwankungen der Bildungsbedingungen sowie Einflüsse der anthropogenen Tätigkeit ermitteln. Es ergäben sich damit definierte Vergleichsmöglichkeiten mit dem Aufbau und Zustand anderer Moore.

Zusammenfassung

Das Große Moosbruch ist aufgrund seiner Größe, der einzigartigen Torfartenzusammensetzung und seiner Nutzungsgeschichte für Moorforschung und Naturschutz von immenser Bedeutung. Klimatisch liegt es in der Übergangszone des südbaltischen Gebietes zum ostbaltischen Bezirk bei einer Regenmenge von 700 mm/a. Es hat einen konzentrischen Aufbau und entlang der umgebenden Flüsse entstand Niedermoor (Flachmoor), welchem ein Streifen Übergangsmoor (Zwischenmoor) folgt. Der zentrale, kompakte Teil besteht aus Hochmoor, wobei dieses das Niedermoor und Übergangsmoor in den tieferen Schichten überlagert.

Mitte des 18. Jahrhunderts wurde von den Rändern aus, vorwiegend auf Nieder- und Übergangsmoor, mit der Melioration begonnen und entlang der Flüsse erfolgte die Anlage von Koloniedörfern. Die letzte Kolonie, Elchtal, wurde im Jahre 1904 auf dem Hochmoor gegründet. Abgesehen von dieser Ausnahme blieb der zentrale Teil des Großen Moosbruches immer ein waldfreies Hochmoor. Der Nestor der deutschen Moorkunde, C. A. Weber, führte im Großen Moosbruch botanische Studien durch und legte 1903 im Ergebnis seiner moorkundlichen Untersuchungen u. a. im Augstumalmoor im Memeldelta eine Torfartengliederung vor, die für die geologische Kartierung der Moore durch die 1873 gegründete Preussische Geologische Landesanstalt die Grundlage bildete.

Das Große Moosbruch erlangte hierfür insofern eine große Bedeutung, als es für die Durchführung einer Musterkartierung, die Dr. A. Klautzsch in den Jahren 1903/05 durchführte, ausgewählt wurde. Diese Kartierungsergebnisse stellen heute eine wertvolle Grundlage für das Studium der Veränderungen im Großen Moosbruch in den letzten 100 Jahren dar.

Die Koloniedörfer wurden 1945 kriegsbedingt verlassen und auf den ehemaligen landwirtschaftlichen Nutzflächen stockt heute ein 60jähriger Wald. Das zentrale Hochmoor zeigte schon 1905 durch die Randwirkungen der Melioration Verheidungserscheinungen, die auch 2005 vorhanden waren.

Die Untersuchungen im Jahre 2005 konnten nur 10 Bohrungen umfassen, während Dr. Klautzsch (1903/05) insgesamt 1 370 Moorprofile beschrieb. Damit sind die Vergleichsmöglichkeiten noch nicht gegeben. Um einen Überblick über den jetzigen Zustand zu gewinnen, ist die Anlage von drei Profillinien quer durch das Große Moosbruch erforderlich.

Summary

Due to its size, its unique composition of peat types and its history of utilization, the Great Moss Bog is of immense importance to research on bogs and nature conservation. It lies in a climate zone bordering the Southern and Eastern Baltic districts and receives rainfall of 700 mm/a. It has a concentric configuration; consisting of a fen (low marsh) along the surrounding rivers, followed by a strip of transitional mire (intermediate bog). The central, compact part is composed of raised bog, whereby it overlays the fen and the transitional mire in the deeper layers.

In the middle of the 18th century a melioration was begun from the periphery, predominantly on the fen and transitional mire, and a series of settlements developed along the rivers. The last settlement, Elchtal, was founded on the raised bog in 1904. Apart from this exception, the central part of the Great Moss Bog always remained a raised bog free of forest. The doyen of German research on peatlands, C. A. Weber, pursued botanical studies in the Great Moss Bog, and as a result of his peatlands research on this area, among others, in 1903 he presented a classification of peat types in the Augstumal Bog in the Neman Delta, which was adopted as the standard technique for geological mapping of bogs by the Prussian Geological Survey, established in 1873.

For this purpose, the Great Moss Bog became important insofar as it was chosen for the realisation of a master mapping conducted by Dr. A. Klautzsch in 1903/05.

The studies in 2005 could only encompass 10 boreholes, whereas Dr. Klautzsch (1903/05) described a total of 1370 sections of bog. Therefore it is not yet possible to make a comparison. In order to obtain an overview of the current condition, it is necessary to establish three lines of profile along the Great Moss Bog.

Danksagung

Unser besonderer Dank gilt allen engagierten Helfern der Immanuel-Kant-Universität Kaliningrad, ohne die die Untersuchungen im Großen Moosbruch nicht möglich gewesen wären:

Prof. Dr. Viktor Dedkow
Dekan der Fakultät der Bioökologie

Doz. Dr. Maksim Napreenko
Lehrstuhl der Botanik und Pflanzenökologie
Fakultät der Bioökologie

Studenten der Bioökologie

alle
Immanuel-Kant-Universität Kaliningrad

Frau Dr. Jaqueline Strahl vom Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg in Kleinmachnow führte die Pollenanalysen durch.

Der Firma Fugro-Consult GmbH Berlin, die das GEODIN-SOFTWARE-SYSTEM 3.0 PROFESSIONAL-EDITION für die Konzepierung des EDV-Projektes „Moosbruch“ zur Verfügung stellte, sei herzlich gedankt.

Literatur

Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. - 5. Aufl., 438 S., Hannover

Bartel, F. (1924): Die Aufnahme der Moore Ostpreußens. - Mitteilungen des Vereins zur Förderung der Moorkultur im Deutschen Reiche **42**, S. 177-180, Berlin

Bülow, K. v. (1928): Grundlagen der angewandten Moorgeologie - Die Bewertung von Torf und Moor an Ort und Stelle. - 27 S., Halle/Saale (Wilhelm Knapp)

Benrath, W. (1934): Untersuchungen zur Pollenstatistik und Mikrostratigraphie von Tonen und Torfen in Randgebieten des Kurischen Haffs unter Berücksichtigung methodischer Fragen. - Phil. Diss., Albertus-Universität Königsberg i. Pr., 103 S., Königsberg i. Pr.

Chevallerie, O. de la (1922): Die volkswirtschaftliche Bedeutung der Moor- und Ödlandskultur im Deutschen Reiche. - Mitteilungen des Vereins zur Förderung der Moorkultur im Deutschen Reiche, 64 S., Berlin

Fleischer, M. (1910): Der Umfang der preußischen Moore. - Mitteilungen des Vereins zur Förderung der Moorkultur im Deutschen Reiche **28**, S. 37-39, Berlin

Fleischer, M. (1922): Die geognostisch-agronomischen Bodenkarten. - In: Die Bodenkunde. - 5., neu bearb. Aufl., S. 134-141, Berlin (Verlagsbuchhandlung Paul Parey)

Friedrich II. (1765): Urbarmachungsedikt. - In: Protokoll der 72. Sitzung der Central-Moor-Commission 1913, S. 342-346, Berlin

Grigat, M. (1931): Die Memelniederung – Die Natur des Landes. - Veröffentlichungen des Geographischen Instituts der Albertus-Universität Königsberg i. Pr., Außer der Reihe 5, 163 S., Königsberg i. Pr.

Gross, H. (1912): Ostpreußens Moore mit besonderer Berücksichtigung ihrer Vegetation. - Schriften der Physikalisch-ökonomischen Gesellschaft zu Königsberg i. Pr., 53, 268 S., Königsberg i.Pr.

Jasnowski, M. (1962): Über die Klassifizierung der Torfarten – 2. Deutsch-Polnisches Torfkolloquium am 27. - 28. April 1961 in Rostock-Warnemünde. - In: Freiberger Forschungshefte **A 254**, S. 13-26, Berlin (Akademieverlag)

Keilhack, K. (1916): Die wissenschaftliche Untersuchung von Torfmooren. - In: Lehrbuch der praktischen Geologie. - I. Band, S. 344-353, Stuttgart (Enke)

Katz, N. & S. Katz (1933): Atlas der Pflanzenreste im Torf. - 70 S., Moskau-Leningrad (Staatsverlag für Landwirtschaftliche Literatur, Selhosgis)

Klautzsch, A. (1906): Die geologischen Verhältnisse des Großen Moosbruches in Ostpreußen unter Berücksichtigung der jetzigen Pflanzenbestände. - Sonderdruck aus dem Jahrbuch der Königlichen Geologischen Landesanstalt und Bergakademie **XXVII**, 2, S. 230-258, Berlin

Kobbert, E. (1925): Das Große Moosbruch, seine Urbarmachung und Besiedlung. - Phil. Diss., Albertus-Universität Königsberg i. Pr., 157 S., Königsberg i. Pr.

Lehmann, R. (2003): Vergessene Landschaften – unterwegs im Großen Moosbruch. - Berlin - Brandenburger Naturmagazin **17**, 1, S. 44-47, Berlin

Liedke, H. (1981): Die nordischen Vereisungen in Mitteleuropa. - Forschungen zur deutschen Landeskunde, Zentralausschuß für deutsche Landeskunde **204**, 2. Aufl., Trier

Post, L. v. (1924): Das genetische System der organogenen Bildungen Schwedens. - In: Comité internat. de Pedologie, IV. Commission, 22, S. 287-304, Stockholm

Preussische Geologische Landesanstalt (1922): Die Mooraufnahmen der Preußischen Geologischen Landesanstalt. - Mitteilungen des Vereins zur Förderung der Moorkultur im Deutschen Reiche **43**, S. 70-73, Berlin

Stadelmann, R. (1878): Preußens Könige in ihrer Tätigkeit für die Landeskultur – II. Teil. Friedrich der Große: Brief vom 21. Januar 1777 an den Etatminister v. Gaudy. - 467 S., Leipzig (Verlag S. Hirzel)

Stamm, H.-U. (1989): Ostpreußisches Mosaik. - 164 S., 4. Aufl., Leer (Rautenberg)

Steffen, H. (1931): Vegetationskunde von Ostpreußen. - 406 S., Jena (Gustav-Fischer-Verlag)

Steinbrück, G. (1910): Über die statistische Aufnahme der Moore des Kreises Cammin in Pommern. - Mitteilungen des Vereins zur Förderung der Moorkultur im Deutschen Reiche **28**, S. 149-167, Berlin

Stöber & Rohrbeck (1930): Urbarmachung und Besiedlung des Großen Moosbruches. - Mitteilungen des Vereins zur Förderung der Moorkultur im Deutschen Reiche **48**, S. 207-209, Berlin

STRAHL, J. (2005): Bericht zur pollenanalytischen Untersuchung von 10 Proben aus verschiedenen Bohrungen des Großen Moosbruches, Kaliningradskaja Oblast. - Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, 7 S., Kleinmachnow

THIEL, H. (1908): Die staatlichen Leistungen für die Moorkultur in Preußen – Festschrift zur Feier des 25jährigen Bestehens des Vereins zur Förderung der Moorkultur im Deutschen Reiche. - S. 1-8, Berlin (Verlagsbuchhandlung Paul Parey)

WEBER, C. A. (1902): Über die Vegetation und Entstehung des Hochmoores von Augustumal im Memeldelta. - 252 S., Berlin (Verlagsbuchhandlung Paul Parey)

WEBER, C. A. (1903): Über Torf, Humus und Moor. - Abhandlungen des naturwissenschaftlichen Vereins Bremen **XVII**, 2, S. 465-484, Bremen

WEBER, C. A. (1905): Die in Dänemark beabsichtigten Mooraufnahmen. - Mitteilungen des Vereins zur Förderung der Moorkultur im Deutschen Reiche **23**, S. 1-7, Berlin

WEBER, C. A. (1908): Die wichtigsten Humus- und Torfarten und ihre Beteiligung an dem Aufbau norddeutscher Moore – Festschrift zur Feier des 25jährigen Bestehens des Vereins zur Förderung der Moorkultur im Deutschen Reiche, S. 80-101, Berlin (Verlagsbuchhandlung Paul Parey)

WOLFF, W. (1923): Eine neue Berechnung der Moorflächen Ostpreußens durch die Preußische Geologische Landesanstalt. - Mitteilungen des Vereins zur Förderung der Moorkultur im Deutschen Reiche **41**, S. 12-15, Berlin

ZEITZ, J., VOGEL, G., TÖLLE, R. & H. LEHRKAMP (1997): Entwicklung eines Bewertungsverfahrens und Erarbeitung von Richtlinien zum Schutz der Bodenfunktionen in Niedermooren Brandenburgs. - Ökologische Hefte der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin **8**, 153 S., Berlin

Karten

Meßtischblatt, TK 25, Blatt 1094 (Lauknen) Ausgabe 1914

Meßtischblatt, TK 25, Blatt 1094 (Hohenbruch) Ausgabe 1940

KLAUTZSCH, A. (1903/05): Geologische Karte des Großen Moosbruches in Ostpreußen, i. M. 1 : 50 000. - In: Jahrbuch der Königlich-Geologischen Landesanstalt und Bergakademie Berlin **XXVII**, 2, [1906], Berlin

KLAUTZSCH, A. (1903/05): Höhenschichtenkarte des Großen Moosbruches in Ostpreußen, i. M. 1 : 50 000. - In: Jahrbuch der Königlich-Geologischen Landesanstalt und Bergakademie Berlin **XXVII**, 2, 1906, Berlin

LEPSIUS, R. (1894): Geologische Karte des Deutschen Reiches in 27 Blättern, Section Königsberg, i. M. 1 : 500 000, Gotha (Justus Perthes)

WOLDSTEDT, P. (1935): Geologisch-morphologische Karte des norddeutschen Vereisungsgebietes i. M. 1 : 1 500 000. - Preußische Geologische Landesanstalt Berlin, Berlin

WOLDSTEDT, P. (1944): Geologisch-morphologische Übersichtskarte des norddeutschen Vereisungsgebietes – Übersichtskarte von Ostpreußen i. M. 1 : 300 000. - Reichsamt für Bodenforschung, Berlin

Anschrift der Autoren:
Dr. agr. Horst Lehrkamp
Erich-Weinert-Straße 59
10439 Berlin

Dipl.-gärtn. Heidemarie Schulze
Luise-Zietz-Straße 89
12681 Berlin

Brandenburg. geowiss. Beitr.	Kleinmachnow, Cottbus	**15** (2008), 1/2	S. 147-154	6 Abb., 2 Tab., 19 Lit.

Junge halokinetische Bewegungen im Bereich der Salzkissen Schlieven und Marnitz in Südwest-Mecklenburg

Young halokinetic movements of the Schlieven and Marnitz salt pillows in south-western Mecklenburg

Ulrich Müller & Karsten Obst

1. Einführung

Im östlichen Teil des Norddeutschen Beckens sind aufgrund geophysikalischer Untersuchungen und intensiver Bohrtätigkeit bei der Suche nach Kohlenwasserstoffen verschiedene Salzstrukturen des Zechsteins identifiziert worden. Neben zahlreichen Salzkissen gibt es vor allem im Südwesten Mecklenburgs auch mehrere Salzstöcke (Abb. 1). Diese haben bei ihrer Bildung die überlagernden Schichten nicht nur aufgewölbt, sondern auch durchbrochen. In unmittelbarer Nähe zu ihnen befinden sich die Salzkissen Schlieven und Marnitz. Infolge der Auflast der im zentralen Teil des Norddeutschen Beckens besonders mächtigen mesozoischen und känozoischen Sedimentfolgen kam es hier seit dem Keuper zum Salzaufstieg. Dabei entwickelten sich Antiklinalstrukturen, deren Topbereich durch den Einbruch von Scheitelgräben gekennzeichnet ist, wie seismische Messungen belegen. Obwohl zwischen der Ausdehnung der Salzkissen und der rezenten Morphologie kein Zusammenhang sichtbar ist, implizieren lokal mächtige Quartärfolgen im Raum Schlieven und Marnitz relativ junge, differenzierte Salzbewegungen während des Pleistozäns. In dem vorliegenden Beitrag wird die Genese dieser hohen Sedimentakkumulationen alternativ zu den in SW-Mecklenburg bekannten, ebenfalls sehr mächtigen quartären Abfolgen in Rinnen (z. B. Hagenower Rinne) diskutiert.

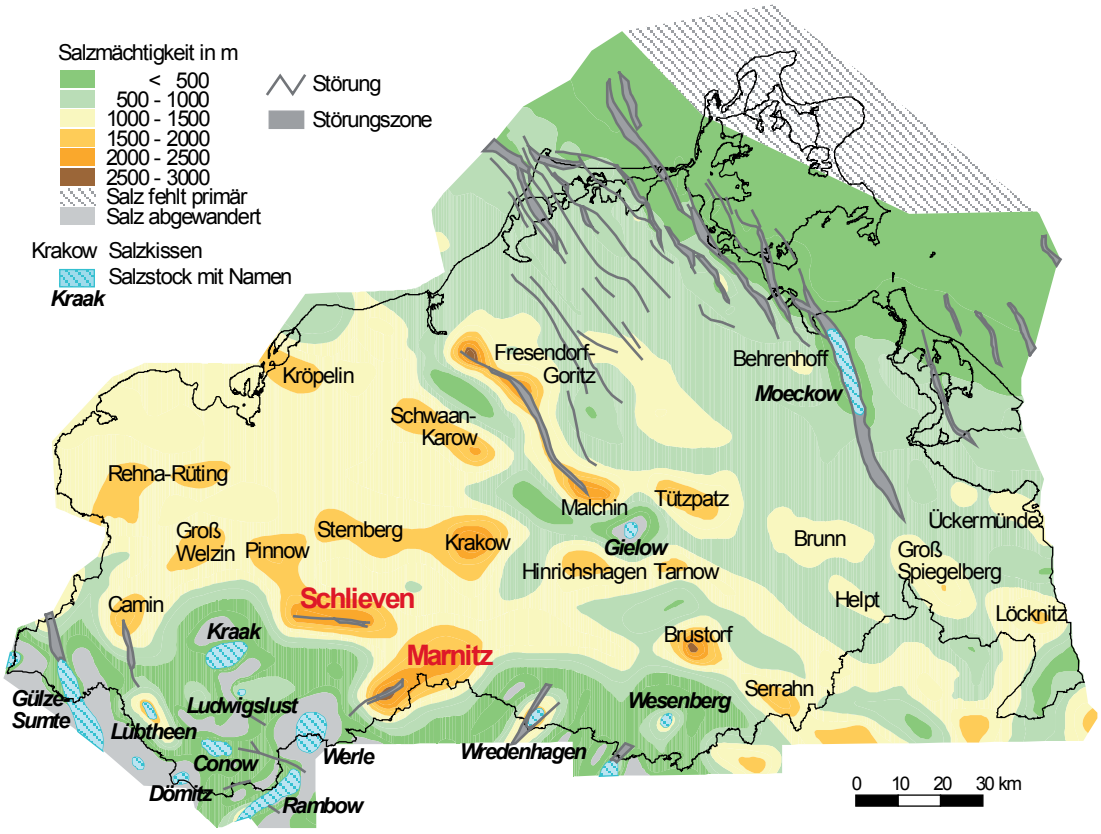


Abb. 1 Übersichtskarte der Zechstein-Salzstrukturen in Mecklenburg-Vorpommern, NE-Deutschland. Die Salzkissen Schlieven und Marnitz sind rot hervorgehoben.

Fig. 1 Overview of the Zechstein salt structures in Mecklenburg-Western Pomerania, NE Germany. The salt pillows of Schlieven and Marnitz are typed in red.

2. Salzstrukturen im Norddeutschen Becken

Das Norddeutsche Becken ist Teil des Mitteleuropäischen Beckensystems, das sich beim Auseinanderbrechen des Superkontinents Pangaea am Ende des Perms entwickelte. Das Becken erstreckte sich zwischen der Tornquist-Teisseyre-Zone sowie dem Ringköbing-Fünen-Hoch im Nordosten und den Überresten des variszischen Orogens im Südwesten. Nach einer initialen Riftphase der Beckenentwicklung verbunden mit intensiven vulkanischen Aktivitäten während des Autuns (Unteres Rotliegendes) kam es besonders im Saxon II (Oberes Rotliegendes) zur Akkumulation von mehr als 2 000 m mächtigen klastischen Sedimenten. Diese werden von flachmarinen Zechstein-Evaporiten überlagert, die in verschiedene Zyklen (z1 bis z7) unterteilt werden können. Die wichtigste Schicht für die im Mesozoikum einsetzende Halokinese ist das mächtige Stassfurt-Steinsalz (z2NA). Die Hauptphase der thermischen Subsidenz im Norddeutschen Becken dauerte bis in die mittlere Trias an (Scheck & Bayer 1999). Anschließend wurde das Sedimentationsgebiet in Teilbecken und Schwellen differenziert (Schwab 1985).

Erste Erosionsphasen traten an der Wende Jura/Kreide auf. Die Ablagerung von marinen Sedimenten der Ober-Kreide zeigt eine Zeit relativer tektonischer Ruhe an. Einer bekkenweiten tektonischen Inversion an der Kreide/Tertiär-Grenze folgte eine Faziesdifferenzierung der tertiären terrestrischen bis flachmarinen Sedimente, die wahrscheinlich mit den fortdauernden Salzbewegungen zusammenhing (Kossow et al. 2000).

Nach seismischen Erkundungen liegt die Zechstein-Basis in einer Tiefe von -900 m NN auf Nordrügen und annähernd -5 000 m NN im Zentralteil des Norddeutschen Beckens (Krull 2004). Eine primäre Salzmächtigkeit bis ca. 1 800 m und der Druck der hangenden Schichten sowie möglicherweise auch regionale tektonische Ereignisse lösten den Salzaufstieg aus (Kossow et al. 2000). Mit der Migration und dem Aufstieg des Salzes beginnt die Bildung von kreisförmigen bis langgestreckten Salzstrukturen mit konkordanten Hangendschichten (Abb. 2). Diese Salzkissen können bei weiterem Salzaufstieg und Durchbrechen der hangenden Sedimente das Diapirstadium erreichen (Trusheim 1957).

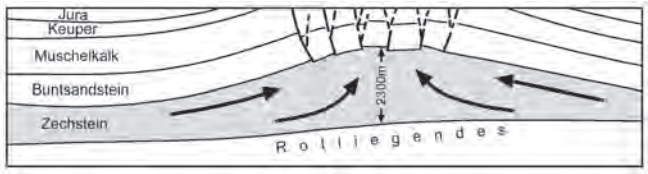


Abb. 2
Schematische Skizze der Grabenbildung über einem Salzkissen während des Salzaufstieges (GGD/GLA 1997)

Fig. 2
Sketch illustrating graben formation on top of a salt pillow due to further salt rise (GGD/GLA 1997)

Die Entwicklung der Salzstrukturen kann entweder nur eine Bewegungsphase oder eine Serie von Bewegungs- und Ruhephasen reflektieren. Der erste lokale Salzfluss im östlichen Teil des Norddeutschen Beckens wird angezeigt durch Mächtigkeitsänderungen im Zusammenhang mit der Entwicklung des NNE verlaufenden Rheinsberger Troges in der späten Trias. Die Aufwölbung der Hangendschichten infolge regionaler Kompression hat signifikant zur Bildung der Salzstrukturen oder zur Erweiterung bestehender Strukturen an der Wende Jura/Kreide beigetragen (Kossow et al. 2000). Die halokinetische Deformation wurde begleitet durch die Bildung grabenähnlicher Strukturen auf dem Top der Salzkissen bevor die darüber lagernden Schichten durchbrochen wurden (Rühberg 1976). Die mit mehr als 1 000 m Sedimenten gefüllten Randsenken zeigen ein kontinuierliches Wachstum der Salzdiapire im Känozoikum an (Abb. 3).

Besonders der Diapirismus während des Quartärs könnte nicht nur durch tektonische Aktivitäten, sondern auch durch glazial-isostatische Ausgleichsbewegungen angetrie-

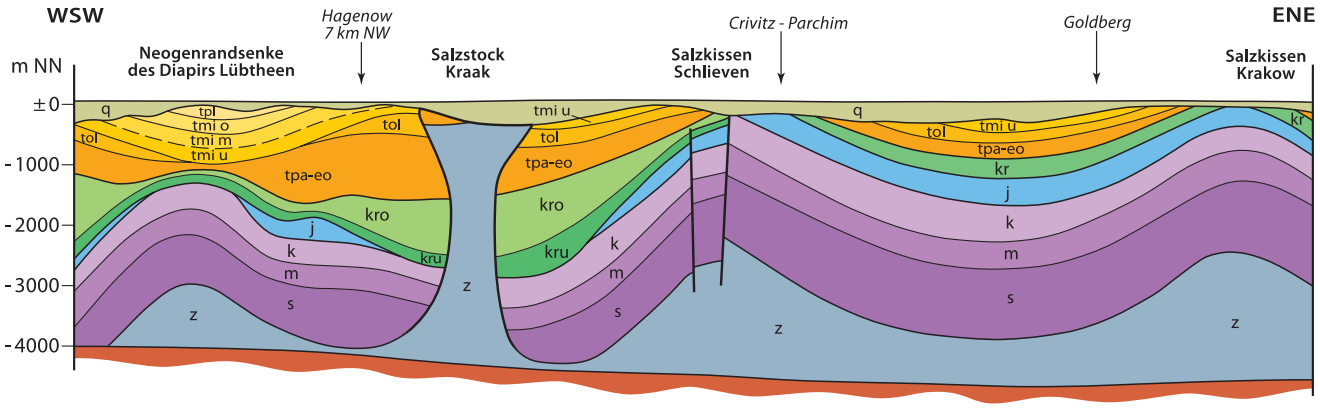


Abb. 3 Schnitt durch verschiedene Zechstein-Salzstrukturen (z) in SW-Mecklenburg (LUNG 2002, verändert)

Fig. 3 Section through different Zechstein salt structures (z) in SW Mecklenburg (LUNG 2002, modified)

ben worden sein. Damit zusammenhängende halokinetische Vorgänge wie Salzaufstieg, Bildung von Scheiteleinbrüchen und Subrosion im Topbereich besonders von Salzstöcken sind u. a. aus der Altmark und Brandenburg (Stackebrandt 2005) bekannt, wobei die größten Aktivitäten im Zeitraum zwischen dem Elster-Spätglazial und der ausklingenden Holstein-Warmzeit liegen. Im Quartär reaktivierte Störungen werden mit Senkungszonen in Verbindung gebracht, die mit > 400 m mächtigen pleistozänen Ablagerungen gefüllt sind (v. Poblotzki 2002). Beziehungen zwischen positivem oder negativem Relief der Oberfläche und Salzstrukturen mit dazugehörigen Störungen im Untergrund Nordostdeutschlands sind ebenfalls beschrieben worden (z. B. Hurtig 1965).

3. Die quartären Schichtenfolgen über den Salzstrukturen Schlieven und Marnitz

3.1 Salzkissen Schlieven

Das Salzkissen Schlieven liegt ca. 25 km südöstlich von Schwerin im Bereich des Außenrandes des Weichsel-Hochglazials, der durch morphologisch unauffällige NW–SE verlaufende Endmoränen markiert wird. Der Top (Zechstein-Oberfläche) dieser in Richtung W–E gestreckten Salzstruktur liegt in einer Tiefe von ca. -1 500 m NN; das Zechsteinsalz ist bis 2 400 m mächtig (GGD/GLA 1997). Der Salzaufstieg begann im Keuper und führte zur Hebung der darüber lagernden Sedimente. Infolge glazialer Erosionen durch die Vorstöße des skandinavischen Inlandeises wurden sie teilweise abgetragen. Rezent werden die quartären Abfolgen im Top der Salzstruktur direkt von jura- bis kreidezeitlichen Sedimenten unterlagert (Abb. 4).

Nachdem seismische Messungen im Top des Salzkissens Schlieven eine Grabenstruktur nachgewiesen hatten, trafen Erdölbohrungen zwischen 1958 und 1960 ungewöhnlich mächtige Quartärablagerungen in diesem Gebiet an. Bestätigt wurden diese Beobachtungen durch die Kartierungsbohrung Schlieven-Marnitz 1/66 (Kb SM 1/66), die eine 427 m mächtige Quartärfolge dokumentiert. Eine detaillierte Beschreibung der erbohrten Folge lieferte Müller (1967). Unterhalb der Quartärbasis (-368 m NN) bis zur Endteufe von 448 m (-389 m NN) liegen Kalksteine aus dem Cenoman. Sie werden von 54 m mächtigen glaukonitischen Feinsanden überlagert, die vermutlich pleistozän aufgearbeitete sandige Unterkreide repräsentieren. Zwei darin festgestellte Exemplare des Algenfarns *Azolla filiculoides* (sämtliche mikropaläontologische Bestimmungen Pipping 1967) lassen ein Prä-Elster (? Cromer, bisher in Mecklenburg-Vorpommern nicht nachgewiesen) Alter möglich erscheinen, falls diese Fossilien nicht durch den Bohrprozess aus höher liegenden Schichten verschleppt wurden. Darüber lagern 28 m glaziale Ablagerungen mit zwei Grundmoränen. Kleingeschiebezählungen nach TGL 25232 zeigen eine typische Kleingeschiebe-Assoziation der Elster-Kaltzeit (qe). Zwischen -267 und -286 m NN liegen über den elsterzeitlichen Bildungen Mollusken führende Feinsande sowie rotbraune und graugrüne tonige Schluffe mit Ostrakoden, z. B. *Cyprideis torosa* und Foraminiferen wie *Ammonia batavus, Elphidium incertum, E. selseyense, E. excavatum, E. orbiculare.* Fazies und Fossilinhalt sprechen für ein Holstein-Alter (qhol) dieser marinen Schichten. Über dem warmzeitlichen Horizont lagern 139 m mächtige Sande, die vom Liegenden bis an ihre Hangendgrenze eine deutliche Kornverfeinerung aufweisen. Die Kornverfeinerung setzt sich in den überlagernden glazilimnischen, insgesamt 55 m mächtigen Feinsanden und Schluffen fort. Darüber ist die Basis der ersten Grundmoräne der Saale-Vereisung (qs1 = Drenthe?) bei -73 m NN angetroffen worden. Diese qs1-Moräne wird ohne Zwischenmittel direkt von einer weiteren Saale-Moräne (qs2 = Warthe?) überlagert. Ihre Kleingeschiebespektren unterscheiden sich deutlich voneinander, sind aber charakteristisch für die beiden Vorstöße des Saale-Glazials. Saalezeitliche Nachschüttbildungen und weichselzeitliche Sander des Frankfurter Eisvorstoßes vervollständigen den oberen Teil des Bohrprofils.

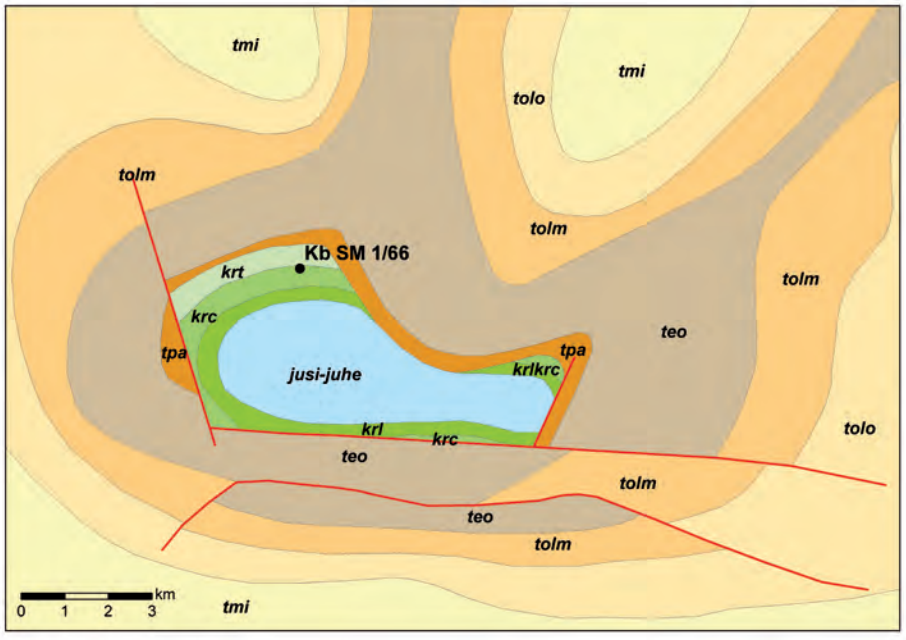


Abb. 4
Karte der unter dem Quartär anstehenden Bildungen und Störungen (rot) im Bereich der Struktur Schlieven (auf Basis einer unveröffentlichten Karte des LUNG)

Fig. 4
Map showing the distribution of Pre-Quaternary formations and faults (red) above the Schlieven salt structure (on basis of an unpublished map of LUNG)

3.2 Salzkissen Marnitz

Etwa 50 km südöstlich von Schwerin liegt das Salzkissen Marnitz und befindet sich damit außerhalb des hochweichselglazialen Außenrandes in einem saalezeitlichen Stauchungsgebiet. Diese Salzstruktur ist NE–SW orientiert und folgt in ihrem Verlauf der Rambow-Marnitzer Störung im tieferen Untergrund. Ihre Entwicklung begann ebenfalls durch halokinetische Bewegungen im Keuper. Dabei stieg hier das Salz sogar bis in eine Tiefe von ca. -1 000 m NN auf. Die maximale Salzmächtigkeit beträgt etwa 2 600 m (GGD/GLA 1997). Durch Heraushebung und Erosion befinden sich unter den quartären Ablagerungen großflächig jurazeitliche Sedimente. Im südwestlichen Topbereich der Struktur fehlen auch diese und das Quartär wird direkt von Keuper unterlagert. Die Untersuchungen der quartären Schichten über dem Salzkissen Marnitz erfolgten zeitgleich mit den Erkundungen zur Struktur Schlieven und sie belegen eine ähnliche Entwicklungsgeschichte.

Über dem Salzkissen Marnitz wurde ebenfalls nach geophysikalischen Messungen eine junge Grabenstruktur festgestellt. In Erdölbohrungen wurde auch eine vergleichsweise tiefe Lage der Quartärbasis angetroffen, die durch die Kartierungsbohrung Schlieven-Marnitz 4/66 (Kb SM 4/66) mit -378 m NN bestätigt wurde (Müller 1967). Die insgesamt 452 m mächtige quartäre Schichtenfolge beginnt über oligozänem Rupelton mit 308 m mächtigen Sedimenten der Elster-Kaltzeit, die eine deutliche Zweiteilung aufweisen. Den liegenden Teil bildet ein 142 m mächtiges Paket von elsterzeitlichen Grundmoränen (qe) mit entsprechenden Kleingeschiebespektren. Darauf folgt der Lauenburger-Ton-Komplex mit insgesamt 166 m Mächtigkeit. Dieser besteht aus charakteristisch rotbraun gefärbten tonigen Schluffen mit Sandeinschaltungen. Anhand mikrofaunistischer Untersuchungen (Pipping 1967) sind darin bei -176 m und -127 m NN marine Ingressionen nachgewiesen worden, wie sie aus dem Hamburger Raum (Linke 1993), aber auch aus Mecklenburg und der Prignitz (Müller 2002, 2004) bekannt sind. Ab -70 m NN folgen darüber limnische warmzeitliche Sedimente in einer Gesamtmächtigkeit von 24 m. An der Basis beginnt die dreiteilige Folge mit sechs Metern olivgrauem Schluff, der Holz- und Molluskenreste wie *Pisidium, Bithynia* und *Sphärium* führt und von 11 m kalkhaltigem Feinsand überlagert wird. Darüber folgt ein kalkfreier, Vivianit führender Schluff. Das gesamte Paket ist der Holstein- bis ? Dömnitz-Warmzeit (qhol-qsu) zuzurechnen (s. auch v. Bülow 2004). Saalezeitliche Vorschüttsande (35 m) und Grundmoränen (85 m; qs) bilden den oberen Teil der quartären Schichtenfolge über dem Salzkissen Marnitz.

4. Genetische Diskussion – pleistozäne Rinnenbildung oder junge halokinetische Bewegungen?

Die 427 m mächtige Quartärabfolge von Schlieven umfasst Sedimente der ? Präelster-, Elster-, Holstein-, Saale- und Weichsel-Zeit. Für Korrelationen mit benachbarten Bohrprofilen bietet sich als Leithorizont das marine Holstein-Interglazial an, das z. B. ebenfalls in der 11 km westlich gelegenen Bohrung Plate 7/73 (Hy Plt 7/73) nachgewiesen wurde (Abb. 5, Tab. 1).

In dieser Bohrung liegt die Holstein-Basis bei -56 m NN, in der Kb SM 1/66 dagegen bei -286 m NN. Der Versatz des Leithorizontes um > 200 m, die tief liegende Quartärbasis und die relativ große Quartärmächtigkeit lassen auf junge Absenkbewegungen über dem Salzkissen Schlieven schließen. Diese erfolgten wahrscheinlich nach der Ablagerung des Holsteins, wie die mächtigen saalezeitlichen Vorschüttbildungen implizieren.

Auf dem Salzkissen Marnitz besteht das mit 452 m noch mächtigere Quartär aus Sedimenten der Elster- und Saale-Kaltzeit sowie der sie trennenden Holstein-Warmzeit. Die Bildungen des Elster-Glazials stellen mit 308 m den Hauptteil der Füllung des auf der Struktur seismisch nachgewiesenen Grabens. Die Basis des darüber lagernden limnischen Holsteins liegt hier bei -70 m NN und damit in vergleichbaren Tiefen wie in den Bohrprofilen auf der benachbarten

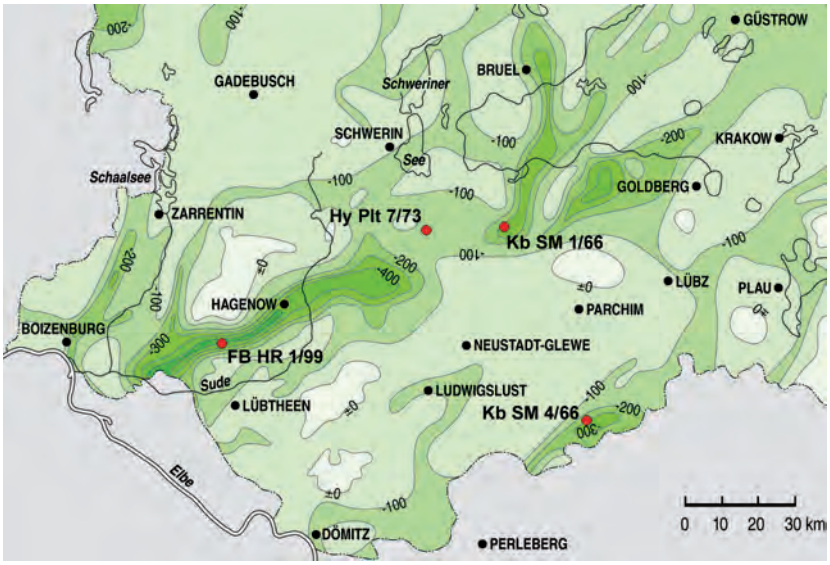


Abb. 5
Karte der Tiefenlage [m NN] der Quartärbasis in SW-Mecklenburg (LUNG 2002)
Bohrungen:
FB HR 1/99 = Hagenower Rinne 1/99
Hy Plt 7/73 = Plate 7/73
Kb SM 1/66 = Schlieven-Marnitz 1/66
Kb SM 4/66 = Schlieven-Marnitz 4/66

Fig. 5
Map showing the depth [m NN] of the Quaternary base in SW Mecklenburg (LUNG 2002)
Position of wells discussed in the text

Tab. 1
Vergleich von Mächtigkeiten und Tiefenlagen quartärer Einheiten in den Bohrungen Plate 7/73 (Hy Plt 7/73) und Schlieven-Marnitz 1/66 (Kb SM 1/66)

Tab. 1
Comparison of thickness and depth of Quaternary units in the boreholes Plate 7/73 (Hy Plt 7/73) and Schlieven-Marnitz 1/66 (Kb SM 1/66)

	Hy Plt 7/73		**Kb SM 1/66**	
stratigraphische Einheit	Mächtigkeit [m]	Basis [m NN]	Mächtigkeit [m]	Basis [m NN]
Weichsel-Glazial (qw)	14	+30	27	+32
Saale-Kataglazial (qsn)	0		31	+1
Saale-Moränen (qs)	28	+2	74	-73
Saale-Anaglazial (qsv)	**39**	-37	**194**	-267
Holstein (qhol)	19	**-56**	19	**-286**
Elster-Glazial (qe)	>20	>-76	82	-368

Salzstruktur Werle (ca. -30 m NN) und dem Richtprofil Pritzwalk mit -60 m NN (v. Bülow 2004). Die Absenkung müsste demnach bereits vor dem Holstein-Interglazial erfolgt sein.

Ähnlich mächtige Quartärablagerungen wie über den Salzstrukturen Schlieven und Marnitz kommen in Südwest-Mecklenburg jedoch auch in tiefen Rinnen vor. Das am besten bekannte Beispiel ist die westlich von Schlieven gelegene Hagenower Rinne (Abb. 5), die detailliert durch die Forschungsbohrung Hagenower Rinne 1/99 (FB HR 1/99) untersucht wurde. Die Basis quartärer Sedimente liegt hier bei -554 m NN (Müller 2004). Das ist die tiefste, in Deutschland durch eine Bohrung nachgewiesene Lage der Quartärbasis. Über Mittel-Miozän wurden in diesem Profil in der Hagenower Rinne 436 m elsterzeitliche Ablagerungen angetroffen, die aber keine Moränen enthalten. Die basalen Sedimente sind charakteristische grobkörnige Schmelzwasserablagerungen, die zum Hangenden feinkörniger werden und von glazilimnischen Sedimenten überlagert werden. 148 m mächtige Saale-Grundmoränen lagern unter Ausfall des Holsteins direkt auf den Elster-Sedimenten (Tab. 2).

Aus der lithologischen und stratigraphischen Analyse der Schichtenfolge in der Hagenower Rinne geht hervor, dass Rinnenbildung und -füllung hauptsächlich vor dem Holstein-Interglazial stattgefunden haben. Zeitlich sind diese Vorgänge mit den oben genannten Absenkungen im Bereich des Salzkissens Schlieven nicht zu korrelieren. Aus der mit 194 m ungewöhnlich mächtigen Sedimenteinheit zwischen dem Holstein und der ältesten Saale-Moräne ergibt sich, dass Absenkung und Sedimentation auf dem Top des Salzkissens Schlieven nach dem Holstein-Interglazial und vor dem ersten Vorstoß des Saale-Eises stattfanden. Eine Interpretation der mächtigen Quartärabfolge der Bohrung Kb SM 1/66 über dem Salzkissen Schlieven, die vom Elster- bis zum Weichsel-Glazial sicher zu stratifizieren ist, als Füllung einer Rinne ist auch nach geologischen und paläogeographischen Überlegungen nicht möglich (Tab. 2). So sind die Elster-Sedimente im Bereich der Salzstruktur Schlieven

Tab. 2
Zusammenstellung quartärer Einheiten über den Salzkissen Schlieven (Kb SM 1/66) und Marnitz (Kb SM 4/66) sowie in der Hagenower Rinne (FB HR 1/99)

Tab. 2
Compilation of Quaternary units above the salt pillows of Schlieven (Kb SM 1/66) and Marnitz (Kb SM 4/66) and in the Hagenow channel (FB HR 1/99)

stratigr. Einheit	**Kb SM 1/66**		**FB HR 1/99**		**Kb SM 4/66**	
	Mächtigkeit [m]	Basis [m NN]	Mächtigkeit [m]	Basis [m NN]	Mächtigkeit [m]	Basis [m NN]
Weichsel	27	+32	0		0	
Saale	299	-267	148	-118	120	-46
Holstein	19	-286	0 (erodiert)		24	-70
Elster	82	-368	436	-554	308	-378

nur 82 m mächtig, enthalten aber zwei Grundmoränen, der spät-elsterzeitliche Lauenburger-Ton-Komplex (s. o.) fehlt. Die Oberfläche des marin-lakustrinen Holsteins liegt über dem Salzkissen Schlieven zudem in der enormen Tiefe von -267 m NN. Diese Tiefenlage ist mit Sicherheit auf Abwärtsbewegungen nach der Sedimentation zurückzuführen, da der Spiegel des Weltmeeres während seiner tiefsten Absenkung im Elster-Glazial deutlich höher gelegen hat. In der Umgebung von Schlieven ist die Oberfläche des Holsteins außerhalb der Salzstruktur in mehreren Bohrungen, wie z. B. in der Hy Plt 7/73 zwischen -40 und -50 m NN erbohrt worden (Abb. 6).

Die Entwicklung des Scheiteleinbruches über der Struktur Marnitz zeigt ähnliche Dimensionen der Absenkung wie über dem Salzkissen Schlieven, wobei durch die ebenfalls gut stratifizierte Schichtenfolge in der Kb SM 4/66 ein anderer Zeitablauf indiziert wird. Die > 300 m mächtigen Elster-Sedimente verweisen auf den Zeitraum der Absenkung des Grabens, die damit etwa synchron zur Genese der Hagenower Rinne erfolgt sein könnte. Das als Kern vorliegende, 142 m mächtige, tief liegende intakte Elster-Grundmoränenmaterial auf präquartären Sedimenten im Topbereich des Salzkissen Marnitz spricht jedoch ebenfalls gegen eine „Rinnen"-Genese durch „fließendes" Wasser.

5. Schlussfolgerungen

Die Unterschiede zwischen einer Rinnenfüllung wie in der Hagenower Rinne und den pleistozänen Schichtenfolgen über den Salzkissen Schlieven und Marnitz sind deutlich und weisen auf verschiedene Bildungsumstände für lokal hohe Quartärmächtigkeiten in Südwest-Mecklenburg hin.

Für die Quartärmächtigkeit, die Tiefenlage der Quartärbasis und die Dislokation der Holstein-Sedimente über dem Salzkissen Schlieven und die tief liegenden mächtigen Elster-Grundmoränen als älteste quartäre Schichtglieder auf Marnitz müssen andere Ursachen in Betracht gezogen werden als für eine (noch nicht vollständig geklärte und kontrovers diskutierte) Rinnenbildung.

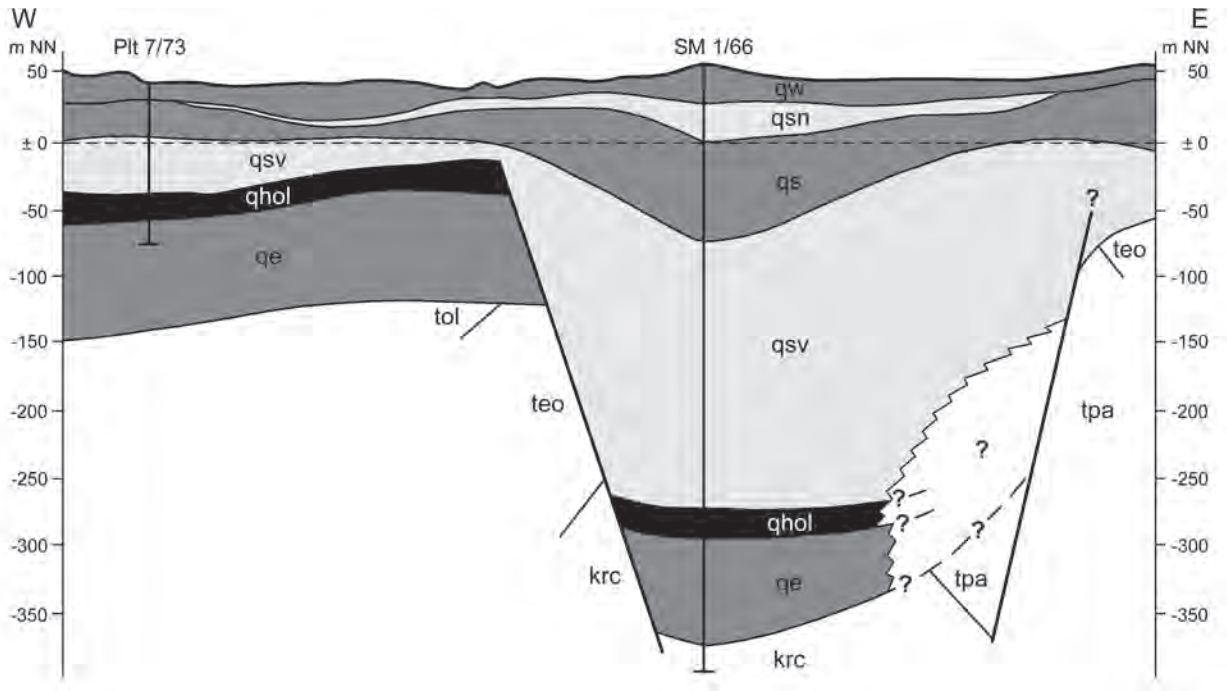


Abb. 6
Schnitt durch den Graben über dem Salzkissen Schlieven mit einer mächtigen Quartärfolge. Halokinetische Bewegungen verursachten eine Absenkung zwischen Ablagerung der Holstein-Sedimente (qhol) und dem ersten Saale-Eisvorstoß (qs)
qw – Weichsel-Kaltzeit, qsn – Nachschüttbildungen Saale-Kaltzeit, qs – Saale-Kaltzeit, qsv – Vorschüttbildungen Saale-Kaltzeit, qhol – Holstein-Warmzeit, qe – Elster-Kaltzeit, tol – Oligozän, teo – Eozän, tpa – Paläozän, krc – Cenoman

Fig. 6
Section through the graben structure on top of the Schlieven salt pillow, filled with a thick Quaternary succession. Halokinetic movements caused subsidence after deposition of the Holsteinian sediments (qhol) and the first Saalian ice advance (qs)
qw – Weichselian, qsn – Saalian sediments accumulated after Saalian glaciation, qs – Saalian, qsv – Saalian sediments accumulated before Saalian glaciation, qhol – Holsteinian, qe – Elsterian, tol – Oligocene, teo – Eocene, tpa – Palaeocene, krc – Cenomanian

Auf der Grundlage der verfügbaren Ergebnisse geologischer und geophysikalischer Untersuchungen im Raum Schlieven-Marnitz (einschließlich unveröffentlichter Berichte aus dem Archiv des Geologischen Dienstes Mecklenburg-Vorpommern) ist für das Salzkissen Schlieven folgende Entwicklung im Quartär zu rekonstruieren:

(1) Der Beginn der quartären Sedimentation liegt vermutlich in einem Thermomer des Präelsters (? Cromer) bzw. im Elster-Anaglazial; die Gesamtmächtigkeit der Prä-Holstein-Sedimente beträgt 82 m. Die Elster-Grundmoräne wird direkt von den hier marin ausgebildeten Holstein-Sedimenten überlagert. Der Lauenburger-Ton-Komplex aus dem Elster-Spätglazial ist (primär) nicht vorhanden. In der Hagenower Rinne ist diese Einheit bis zu 150 m, über der Struktur Marnitz sogar 166 m mächtig (Tab. 2). Das Fehlen dieses Komplexes ist ein Indiz dafür, dass die Absenkung auf dem Top des Salzkissen Schlieven nicht vor der Sedimentation des Holsteins begonnen hat.
(2) Die post-holsteinzeitliche Absenkung wurde synsedimentär durch die im Vergleich zur Umgebung sehr mächtigen glazilimnischen bis glazifluviatilen Serien (Saale-Vorschüttbildungen) kompensiert. Wahrscheinlich setzten sich die Abwärtsbewegungen bis zum ersten Saale-Eisvorstoß fort. Aus der Basislage der ersten Saale-Moräne (qs1) bei -73 m NN lässt sich kein Andauern der Bewegungen ableiten, da die Basis der saalezeitlichen Moränen in SW-Mecklenburg generell zwischen 0 und > -120 m NN variiert.
(3) Während der Absenkungsphase wurden 194 m Schmelzwassersedimente akkumuliert. Dies korreliert sehr gut mit der tiefen Lage der Holstein-Schichtenfolge, die auf dem Top des Salzkissens Schlieven > 200 m unterhalb seiner „normalen“ Lage in diesem Gebiet liegt (Tab. 1). Bei der Dauer von 70-100 ka für das Saale-Frühglazial kann eine Absenkungsrate von 2-3 mm/1 000 a angenommen werden. Der Scheiteleinbruch nach dem Holstein wird auf halokinetische Bewegungen sowie auf die Reaktivierung von Störungen auf dem Top des Salzkissens Schlieven zurückgeführt.

Solche jungen, bis ins Quartär aktiven Grabenbildungen werden nicht nur für das Salzkissen Schlieven, sondern auch für die weiter südöstlich gelegene Struktur Marnitz angenommen (vgl. Rühberg 1976), wobei die lithostratigraphische Bearbeitung der Sedimentfüllung (Müller 1967) einen früheren Einbruch ihres Grabens impliziert. Der Scheiteleinbruch im Topbereich des Salzkissens Marnitz ist im Gegensatz zu den post-holsteinzeitlichen Bewegungen in Schlieven vor dem Holstein in der Elster-Kaltzeit erfolgt. Die im Vergleich mit Schlieven relativ geringe Tiefenlage und die Gesamtmächtigkeit der warmzeitlichen Bildungen des Holstein-Interglazials zeigen hier das Ende bzw. Ausklingen der Abwärtsbewegungen an.

Die komplexen Untersuchungen der mächtigen Quartärabfolgen machen deutlich, dass eine auf bio-, litho- und morphostratigraphischen Befunden basierende Bewertung eindeutige Hinweise zu ihrer Genese ermöglicht. Sehr mächtige Quartärprofile (> 400 m) mit tief liegender Basis sind nicht ausschließlich auf Rinnenbildungen zurückzuführen, sie können auch auf junge halokinetische, möglicherweise glazial-isostatisch induzierte Bewegungen (Scheiteleinbrüche) auf dem Top von Salzkissen (z. B. Schlieven, Marnitz) oder auf Subrosion von Salzstöcken (z. B. Kraak) zurückgeführt werden. Wie in der Altmark, wo sich lokal Randsenken und Rinnenstrukturen überlagern (v. Poblotzki 2002), muss auch in Mecklenburg und Vorpommern mit Überlagerungen von halokinetischen Bewegungen und Rinnenbildungen gerechnet werden.

Zusammenfassung

Kartierungsbohrungen dokumentieren ungewöhnlich mächtige Quartärfolgen über den Salzkissen Schlieven und Marnitz im südwestlichen Mecklenburg. Durch ihre Lage im Zentrum des Norddeutschen Beckens sind Salzangebot und Auflast des Deckgebirges hier so groß, dass die salinaren Strukturen bis in das Pleistozän aktiv geblieben sind. Im Verlauf der Strukturentwicklung entstanden durch die halokinetischen Bewegungen im Salinar bzw. Suprasalinar Verformungen, Hebungen und Scheiteleinbrüche. Reflexionsseismische Erkundungen haben über beiden Salzkissen, deren Topbereiche etwa in Tiefen von -1 500 bzw. -1 000 m NN liegen, grabenartige Versätze nachgewiesen, die bis zur Quartärbasis verfolgbar sind. Zusammenhänge zwischen den Salzstrukturen im Untergrund und der Morphologie der Oberfläche sind jedoch nicht feststellbar. Die zeitliche Einordnung der Einsenkungen im Deckgebirge kann deshalb nur auf der Basis detaillierter lithostratigraphischer Untersuchungen der quartären Schichten erfolgen. Das 427 m mächtige Pleistozän über dem Salzkissen Schlieven enthält tief abgesenktes marines Holstein als Leithorizont und fast 200 m post-holsteinzeitliche Schmelzwassersedimente. Auf der Struktur Marnitz erfolgte die Grabenbildung bereits vor dem Holstein-Interglazial. Beide Schichtenfolgen lassen sich im Gegensatz zur Hagenower Rinne trotz vergleichbarer Mächtigkeiten des Quartärs und ähnlicher Tiefenlagen der Quartärbasis nicht als Rinnenfüllung interpretieren, sondern stehen genetisch im Zusammenhang mit jungen halokinetischen, möglicherweise glazial-isostatisch induzierten Bewegungen.

Summary

Unusual thick Quaternary successions above the salt anticlines of Schlieven and Marnitz in south-western Mecklenburg have been documented by research wells. Due to its position approximately in the central part of the North German Basin the Zechstein salt and the overlying Mesozoic sediments are rather thick. Therefore, halokinetic movements led to salt rise up to 1 500 m or 1 000 m below sea level, respectively. The rising salt caused uplift and deformation of the cover rocks. Seismic measurements suggest the existence of graben-like structures on top of the salt pil-

lows that can be traced up to the Quaternary base. However, no relationship between the extension of the salt pillows and the recent morphology is visible. Thus, only detailed lithological and stratigraphical investigations of the Quaternary sequences make it possible to date the young tectonics. The Pleistocene succession on top of the Schlieven salt anticline is 427 m thick and consists of deep lying marine sediments of the Holsteinian that can be used as a marker horizon. Subsidence is accompanied by sedimentation of 200 m thick melt water deposits of post-Holsteinian age. Similar young graben-like structures above the salt pillow Marnitz have also been formed, but earlier than deposition of the Holsteinian sediments. However, the formation of an Elsterian channel (e. g. the so-called Hagenower Rinne) on top of this salt structure can be excluded as well as for Schlieven. A genetical relationship between the thick Quaternary successions on top of the salt structures and young halokinetic movements, probably induced by glacial-isostatic processes, is more likely.

Literatur

Bülow, W. v. (2004): Die Kraaker Schichten (Holstein-Komplex) im südwestlichen Mecklenburg und nordwestlichen Brandenburg. - Brandenburg. geowiss. Beitr. **11**,1/2, S. 97-110, Kleinmachnow

GGD/GLA (1997): Geologische Karte von Mecklenburg-Vorpommern – Übersichtskarte 1 : 500 000, Zechsteinsalzstrukturen. - Geologisches Landesamt Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin

Hurtig, E. (1965): Beziehungen zwischen Oberflächenmorphologie und Salzstrukturen. - Geophysik und Geologie **7**, S. 42-57, Leipzig

Kossow, D., Krawczyk, C. M., McCann, T., Strecker, M. & J. F. W. Negendank (2000): Style and evolution of salt pillows and related structures in the northern part of the Northeast German Basin. - Int. J. Earth Sciences **89**, S. 652-664, Berlin

Krull, P. (2004): Epivariszisches Tafeldeckgebirge. - In: Katzung, G. (Hrsg.): Geologie von Mecklenburg-Vorpommern. - S. 388-397, Stuttgart (E. Schweizerbart)

Linke, G. (1993): Zur Geologie und Petrographie der Forschungsbohrungen qho 1-5, der Bohrung Hamburg-Billbrook und des Vorkommens von marinem Holstein im Gebiet Neuwerk-Scharhön. - Geol. Jb. **A 138**, S. 35-76, Hannover

LUNG (Hrsg.) (2000): Geologische Karte von Mecklenburg-Vorpommern – Übersichtskarte 1 : 500 000, Oberfläche. - Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie, Güstrow

LUNG (Hrsg.) (2002): Geologische Karte von Mecklenburg-Vorpommern – Übersichtskarte 1 : 500 000, Präquartär und Quartärbasis. - Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie, Güstrow

Müller, U. (1967): Abschlußbericht über vier Kartierungsbohrungen von 1966 – Objekt Schlieven-Marnitz. - 47 S., Bericht, Schwerin (unveröff.)

Müller, U. (2002): Marine Ingressionen im Lauenburger Ton (Elster-Spätglazial) Mecklenburg-Vorpommerns. - Tagungsband und Exkursionsführer, 69. Tagung NWG, S. 48-49, Essen

Müller, U. (2004): Alt- und Mittel-Pleistozän. - In: Katzung, G. (Hrsg.): Geologie von Mecklenburg-Vorpommern. - S. 226-231, Stuttgart (E. Schweizerbart)

Pipping, H.-P. (1967): Mikropaläontologischer Untersuchungsbericht 141/67. - In: Müller, U. (1967): Abschlußbericht über vier Kartierungsbohrungen von 1966 – Objekt Schlieven-Marnitz. - Bericht, Schwerin (unveröff.)

Poblotzki, B. v. (2002): Stratigraphie des Quartärs und quartäre Bewegungen an Salzstrukturen in der nördlichen Altmark. - Hallesches Jahrb. Geowiss. **B 24**, S. 57-82, Halle

Rühberg, N. (1976): Probleme der Zechsteinsalzbewegung. - Z. f. angew. Geol. **9**, S. 413-420, Berlin

Scheck, M. & Bayer, U. (1999): Evolution of the Northeast German Basin – inferences from a 3D structural model and subsidence analysis. - Tectonophysics **313**, S. 145-169, Amsterdam

Schwab, G. (1985): Paläomobilität der Norddeutsch-Polnischen Senke. - Habilitationsschrift Akademie der Wissenschaften der DDR, 196 S., Berlin

Stackebrandt, W. (2005): Neotektonische Aktivitätsgebiete in Brandenburg (Norddeutschland). - Brandenburg. geowiss. Beitr. **12**, 1/2, S. 165-172, Kleinmachnow

TGL 25232 (1971): Fachbereichstandard Geologie, Analyse des Geschiebebestandes quartärer Grundmoränen. - Blatt 1-6, Berlin

Trusheim, F. (1957): Über Halokinese und ihre Bedeutung für die strukturelle Entwicklung Norddeutschlands. - Z. Dt. Geol. Ges. **109**, S. 111-158, Hannover

Anschrift der Autoren:

Dipl.-Geol. Ulrich Müller
19053 Schwerin
Bleicherstr. 42

Dr. Karsten Obst
Geologischer Dienst, LUNG M-V
Goldberger Str. 12
18237 Güstrow

Brandenburg. geowiss. Beitr.	Kleinmachnow, Cottbus	**15** (2008), 1/2	S. 155-164	8 Abb., 12 Lit.

Geothermie Forschungsbohrung in Groß Schönebeck – von der Planung bis zur Stimulation

Geothermal research well in Groß Schönebeck – from design to stimulation treatment

Günter Zimmermann & Inga Moeck

1. Einleitung

Fluviatile Sandsteine des Unteren Perm (Rotliegend), abgelagert an der Südflanke des Südlichen Permbeckens, stellen potentielle Speichergesteine im gesamten mitteleuropäischen Raum dar. Diese siliziklastischen Gesteine werden als Gasreservoire exploriert, enthalten außerdem heißes Wasser und stellen somit geothermale Reservoire dar, die zur Energiegewinnung genutzt werden können. Diese 4-5 km tiefen Aquifere repräsentieren Niedrigtemperatur Reservoire (Gering-Enthalpie Reservoire) mit Formationstemperaturen von ca. 150 °C. Unsere Explorationsstrategien umfassen die Vorerkundung, basierend auf Altdaten und anschließender 3D-Modellierung, zur Interpretation von möglichen geothermalen Reservoiren. Des Weiteren umfassen sie den Aufschluss der Lagerstätte durch neuentwickelte Bohrungsstrategien sowie die Stimulationsmaßnahmen zur Produktivitätssteigerung.

Daher wurde das in situ Geothermie-Tiefenlabor in Groß Schönebeck eingerichtet (Abb. 1). Die erste Bohrung (E GrSk 3/90) wurde 1990 als Erdgassuchbohrung abge-

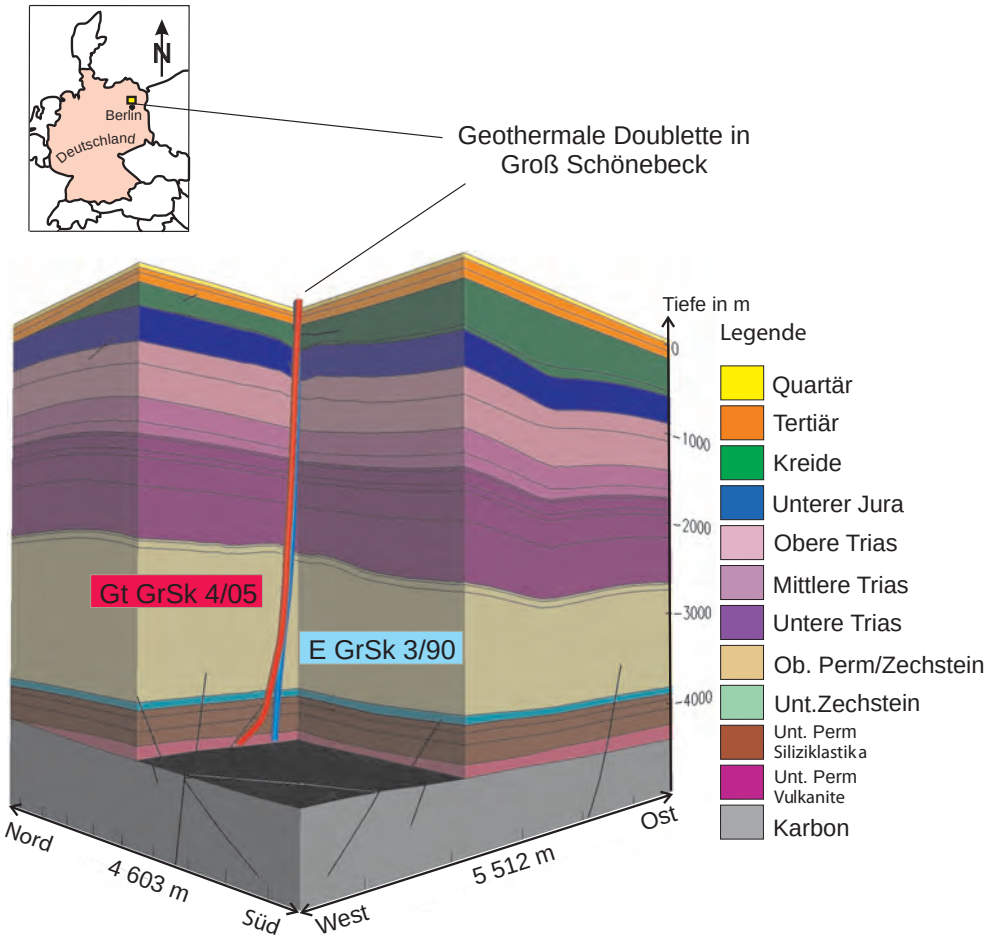


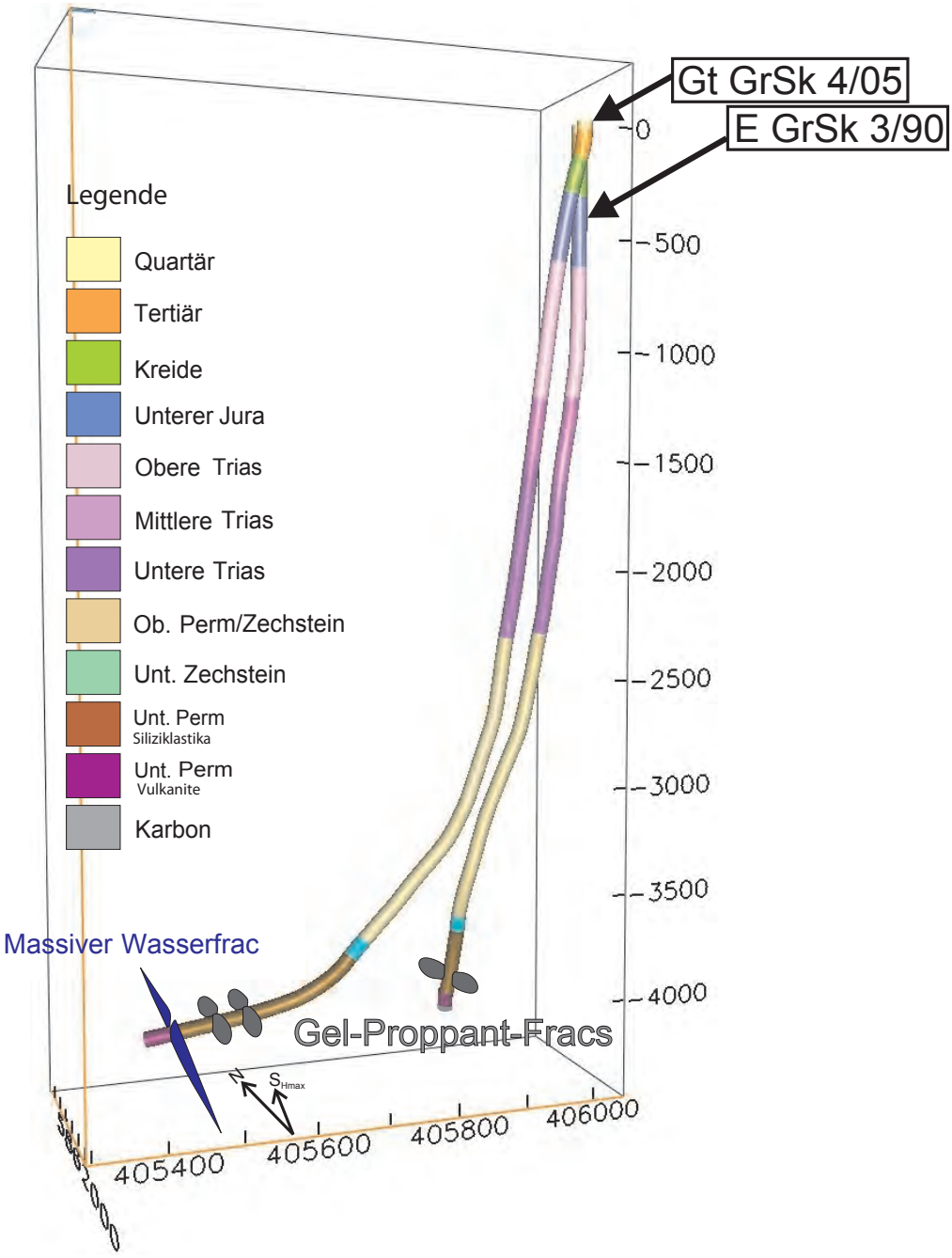
Abb. 1
Geologisches 3D-Modell der Lokation des in situ Geothermie-Tiefenlabors in Groß Schönebeck inklusive der Lage der zwei Bohrungen

Fig. 1
Geological 3D-model of the in situ geothermal laboratory in Groß Schönebeck including the two wells

teuft und ab 2001 als Forschungsbohrung genutzt. In dieser 4 300 m tiefen Bohrung, die über das Rotliegend hinaus das Karbon aufschließt, wurden zwischen 2002 und 2004 verschiedene Stimulationsmaßnahmen durchgeführt.

Um das Reservoir zu charakterisieren, wurden verschiedene Bohrlochmessungen durchgeführt (Kalibermessungen, Spektrales Gamma-Ray, Widerstandslog, Sonic, bildgebende Verfahren (BHTV, FMI)) (Holl et al. 2005). Das Abbild des Reservoirs und des gesamten geologischen Untergrunds ergänzte eine 3D-Modellierung unter Einbeziehung reprozessierter und neu bewerteter Altdaten aus der Gas-Exploration.

Die wirtschaftliche Wandlung von Erdwärme in elektrischen Strom erfordert Temperaturen von >150 °C, die in weiten Regionen des Norddeutschen Sedimentbeckens in Tiefen zwischen 4000 und 5000 Metern zu finden sind, sowie die stabile Förderung großer Mengen von Thermalwasser (Köhler & Saadat 2003). In diesen Tiefen ist die natürliche Permeabilität (Durchlässigkeit) der Gesteine nicht ausreichend für eine wirtschaftliche Nutzung. Daher müssen verlässliche Stimulationstechnologien entwickelt werden, um die Produktivität der geothermischen Reservoire zu erhöhen. Die Forschungsbohrungen in Groß Schönebeck dienen als Hauptexperimentierfeld, um diese Technologien zu entwickeln.



Ziel der Stimulationsmaßnahmen in der Bohrung Gt GrSk 4/05 ist eine deutliche Produktivitätserhöhung der Zielhorizonte als Voraussetzung für die Nutzbarmachung des Rotliegend als Enhanced Geothermal System (EGS). Zielhorizonte sind sowohl poröse Sandsteine des Oberen Rotliegend (Dethlingen Formation/Untere Elbe Subgruppe), als auch Vulkanite des Unteren Rotliegend. In den als Andesit ausgebildeten Vulkaniten ist die Permeabilität durch vernetzte Klüfte begründet. Dieses Kluft-

Abb. 2 Anordnung der Dublette einschließlich der Frac-Behandlung (modifiziert nach ZIMMERMANN et al. 2008)
Fig. 2 Alignment of the doublet including the fractures treatments (modified after ZIMMERMANN et al. 2008)

wasserleitersystem soll zusätzlich aufgeschlossen werden, um die Gesamtproduktivität zu optimieren. Die Sandsteine stellen mit einer Nutzporosität von 8-10% und einer Durchlässigkeit (Permeabilität) von 10-100 mD einen guten effektiven Speicherhorizont dar (Trautwein & Huenges 2005). Der Elbe-Basissandstein als unterer Teil der Dethlingen Formation liegt in NE Brandenburg als reiner, gut sortierter mittelfeiner bis feiner Sandstein vor, der in fluviatilem Milieu abgelagert wurde. Die effektive Speichermächtigkeit beträgt 80 m, durch den geneigten Bohrverlauf konnten 150 m scheinbare Speichermächtigkeit aufgeschlossen werden. In diesem Sandsteinpaket wurden zwei Gel-Stützmittel Fracs durchgeführt. Die Anordnung des Dublettensystems mit den geplanten Fracs ist in Abbildung 2 dargestellt. Der Bohrpfad der abgelenkten Bohrung Gt GrSk4/05 hat eine Inklination von 37 bis 49° in den Reservoirgesteinen und eine Orientierung von 288 bis 296° N, die entlang der minimalen horizontalen Hauptspannung verläuft (Holl et al. 2004; Moeck et al. 2007). Die Fracs verlaufen parallel zur maximalen horizontalen Hauptspannung (18°N) und sind somit senkrecht zum Bohrpfad ausgerichtet.

2. Geologische 3D-Modellierung

Die Altdaten aus der Gas-Exploration umfassen 2D seismische Profile von insgesamt 135 km Profillänge und Daten aus 15 umliegenden Tiefbohrungen. Das Hauptziel der Reprozessierung der Altdaten sind: (I) neue Korrelationen des reflektionsseismischen Horizonts Z1 (Top Basalanhydrit im Staßfurt), (II) Korrelation der Rotliegend Reflektoren R1 (Basis Mellin in der Hannover Formation), R2 (Top Eldena 7 in der Dethlingen Formation) und H6 (Top Vulkanite des Unteren Rotliegend) und (III) Identifikation des Störungsmusters im Rotliegend bestehend aus Haupt- und Sekundär-Störungen.

In Kombination mit den Bohrungsdaten wurde das geologische 3D-Strukturmodell mit Hilfe der Software earthVision (DGI) entwickelt. TerraData reprozessierte die seismischen Profile, Geophysik GGD Leipzig führte die Korrelation und Interpretation durch. Die Software für die weiterführenden Arbeiten sind die seismischen Interpretationsprogramme GeoFrame, Charisma und Sattlegger. Die Kohärenzanalyse wurde durch GGD und die Universität Leipzig durchgeführt. Die Analyse der Bohrungsdaten zeigte Bohrlochrandausbrüche in 4 100 m im Oberen Rotliegend, die zur Berechnung des in situ Spannungsfeldes herangezogen wurden. Da für die neue Bohrung vorgesehen war, durch Reduktion des Spülungsdrucks beim Aufschließen des Reservoirs die Speicherschädigung zu minimieren, wurde eine Riss-mechanische Studie durchgeführt, die Bohrlochrandausbruch-Analyse, Bohrkern-Untersuchungen und numerische Modellierungen beinhaltet, um Aussagen über die Bohrlochstabilität zu erhalten (Moeck & Backers 2007).

3. Bohrungsstrategien

Durch thermisch-hydraulische FE-Modellierung wurde eine optimale Bohrpfadgeometrie für die zweite Bohrung erstellt, basierend auf der Datenbasis der ersten Bohrung (Zimmermann et al. 2007). Der Bohrpfad wurde so konzipiert, dass eine Ablenkung im Speicherhorizont in Richtung der minimalen horizontalen Hauptspannung im Rotliegend erfolgt und damit potentielle, senkrecht dazu ausgerichtete, natürliche hydraulisch aktive Risse angeschlossen werden. Weiterhin wurde der Mindestabstand der Bohrungen im Speicher durch die FE-Modellierung definiert. Die geplanten hydraulischen Fracs orientieren sich in Richtung der maximalen horizontalen Hauptspannung. Durch dieses spezielle Design

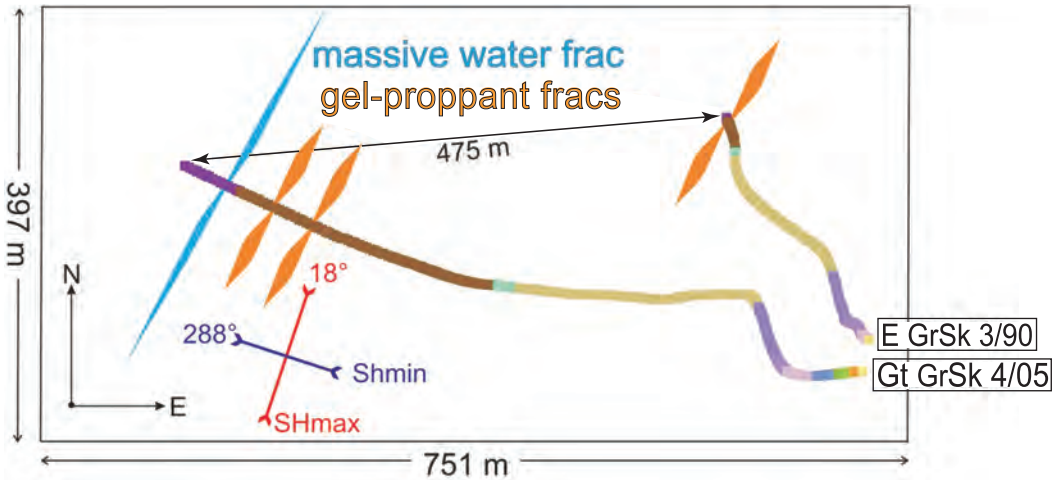


Abb. 3
Aufsicht auf die geothermale Dublette bestehend aus den Bohrungen E GrSk 3/90, ursrünglich als Erdgassuchbohrung abgeteuft, und der geothermalen Bohrung Gt GrSk 4/05.
Die Bohrungsdublette soll künftig einen Thermalwasserkreislauf ermöglichen. Die neue Bohrung soll als Produktionsbohrung dienen und wurde - wie schematisch dargestellt - stimuliert. Die Altbohrung wurde ebenfalls stimuliert und wird als Injektionsbohrung dienen. Die größte horizontale Hauptspannung des in situ Spannungsfeldes ist bei 18° orientiert (MOECK et al. 2008).

Fig. 3
Drill paths of the two geothermal wells, E GrSk 3/90 is the former gas exploration well, Gt GrSk 4/05 is the recently drilled geothermal well.
Both wells form a well doublet for a hot water loop. Gt GrSk 4/05 is planned as production well, stimulated by a set of hydraulic fractures as schematically illustrated. The maximum horizontal stress direction is 18° (MOECK et al. 2008).

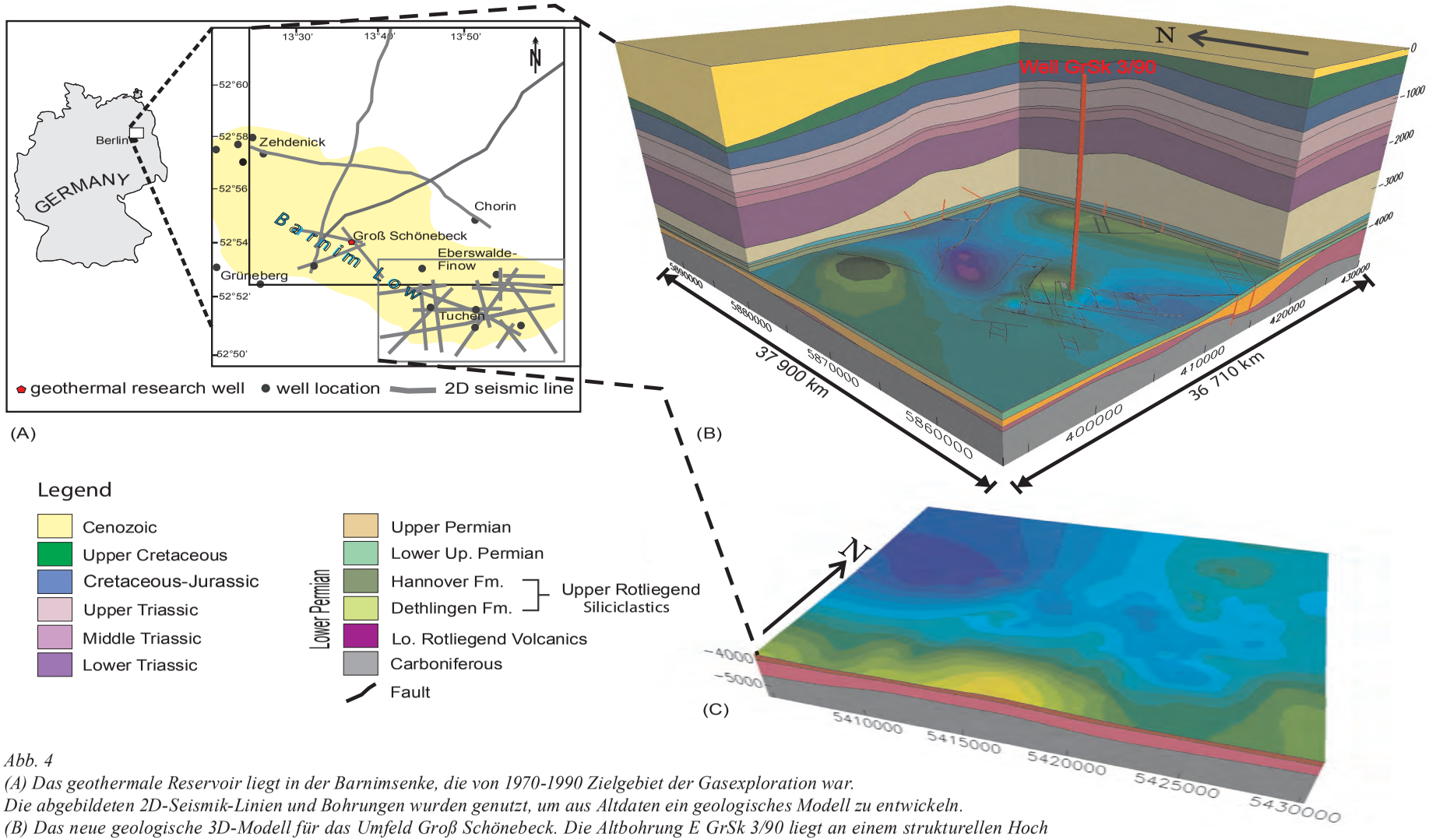


Abb. 4
(A) Das geothermale Reservoir liegt in der Barnimsenke, die von 1970-1990 Zielgebiet der Gasexploration war. Die abgebildeten 2D-Seismik-Linien und Bohrungen wurden genutzt, um aus Altdaten ein geologisches Modell zu entwickeln.
(B) Das neue geologische 3D-Modell für das Umfeld Groß Schönebeck. Die Altbohrung E GrSk 3/90 liegt an einem strukturellen Hoch innerhalb der Barnimsenke.
(C) Das neue geologische 3D-Modell der Tuchener Senke am SE Rand der Barnimsenke (aus MOECK et al. 2008).

Fig. 4
(A) The geothermal test site is located in the center of the Barnim Low, which was a field of extensive gas exploration in the 1970's-1980's. The seismic lines and wells shown are now used for 3D modeling and re-interpretation.
(B) New 3D geological model of the Groß Schönebeck area. The existing well EGrSk3/90 is located at a structural high within the Barnim Low.
(C) New geological 3D-model of the Tuchen Low at the SE of the Barnim Low (from MOECK et al. 2008).

wird ein thermischer Kurzschluss über die geplante Laufzeit des Thermalwasserkreislaufs von ca. 30 Jahren verhindert (Abb. 3). Die speziellen Anforderungen für geothermische Bohrungen umfassen (I) einen großen Bohrungsdurchmesser zum Platzieren der Tiefenwasserpumpe, (II) abgelenktes Bohren, um die oben genannten Voraussetzungen für die Nachhaltigkeit des Thermalwasserkreislaufs zu erfüllen und (III) ein Spülungskonzept zum speicherschonenden Aufschluss.

Während der Bohrarbeiten kam es zu unerwarteten geologisch-technisch bedingten Problemen. Nach dem Durchteufen des Zechsteins kollabierten die 9 5/8 Zoll Rohrtouren. Vermutlich ist dieses Materialversagen durch Spannungskonzentrationen in einem nicht erwarteten anisotropen Spannungsfeld entlang der 20° geneigten Bohrung und in Zusammenhang mit dem hochduktilen Salz erfolgt (Temperaturen von ca. 110 °C in 3 800 m Tiefe). Darauf hin musste das Bohrungsdesign den neuen Bedingungen angepasst werden, mit der Folge, dass der Speicherbereich im Rotliegend mit einem geringeren Rohrdurchmesser aufgeschlossen wurde. Bohrlochrandausbrüche sind im Oberen Rotliegend (3 940 m Teufe) aufgrund des anfangs geringen Spülungsgewichts entstanden, die durch Erhöhung des Spülungsgewichts gemäß der geomechanischen Vorstudie stabilisiert wurden (Moeck & Backers 2007). Ein weiterer Grund für die Spülungsgewichtserhöhung war das Auftreten von H_2S-Gas, das vermutlich aus der Werra-Formation austrat.

Schließlich konnte die Bohrung mit Aufschluss der Unteren Rotliegend-Vulkanite planungsgemäß mit einer Bohrpfadlänge von 4 400 m beendet werden. Die Rotliegendsedimente erreichen eine Mächtigkeit von 340 m. Das im Vorfeld erstellte 3D-Modell des geologischen Untergrunds zeigt, dass das Feld Groß Schönebeck an der Flanke eines strukturellen Hochs des Sandsteinhorizonts liegt (Abb. 4). Der Sandstein im Reservoirbereich erreicht eine Permeabilität von bis zu 100 mD (aus dem PND-log errechnet, basierend auf der Kalibrierung mit Hilfe von Bohrkernen aus der Nachbarbohrung E GrSk 3/90) und liegt im Bereich des Elbe-Basissandsteins mit einer effektiven vertikalen Mächtigkeit von ca. 80 m.

Die Korrelation zwischen beiden Bohrungen E GrSk 3/90 und Gt Gr Sk4/05 zeigt keine signifikanten Änderungen in Mächtigkeit und Schichtlagerung (Abb. 5). Die Bohrungsinklination von 45 ° bedingt eine effektive aufgeschlossene Mächtigkeit von ca. 150 m im Elbe-Basissandstein. Der realisierte Bohrpfad (Abb. 3) mit einem Abstand zwischen beiden Bohrungen von 475 m entspricht den Planungen, so dass die Voraussetzungen für die Durchführung der Stimulationsarbeiten gegeben waren.

Der generelle strukturelle geologische Bau in diesem Gebiet wird dominiert durch stark wechselnde Mächtigkeiten des Zechsteinsalzes und der Ausbildung von Salzrücken und Diapiren (Abb. 4 B-C, Diapire von Zehdenick und Grüneberg; in der Abbildung nicht zu sehen). Das Störungsmuster im Unteren Perm besteht aus Nord-West–Süd-Ost orientierten Hauptstörungen und Nord-Süd bis Nord-Ost–Süd-West verlaufenden Sekundärstörungen, die vermutlich im Laufe der gerichteten Scherdeformation (wrench tectonics) in der post-orogenen Phase der Varisziden gebildet wurden (Baltrusch & Klarner, 1993). Die Analyse der geologischen Modelle ergibt, dass die Ablagerungszentren des Elbe-Basissandsteins an paläomorphologische Strukturhochs, die als Liefergebiete dienten, gebunden sind. Somit könnten weitere geothermische Standorte definiert werden. Darüber hinaus wird das geologische Modell als Basis für eine Reservoirmodellierung weiterentwickelt.

4. Stimulations- und Testarbeiten in der Bohrung Gt GrSk 4/05

In der komplettierten Bohrung Gt GrSk 4/05 wurden drei Stimulationsmaßnahmen durchgeführt. Ein erster Leak-Off-Test in den Vulkaniten (unterer offener Bereich von 40 m in der Bohrung) diente zur Bestimmung des Frac-Gradienten. Ausgehend von den gewonnenen Daten, erfolgte die hydraulische Stimulation der Vulkanite mit Hilfe eines massiven Wasserfracs. Nach der hydraulischen Isolierung des stimulierten Bereichs durch Setzen eines ersten Bridge Plugs wurde der darüber liegende untere Sandsteinhorizont perforiert und getestet (Injektionstest). Anschließend wurde dieser Bereich mit Hilfe eines Gel-Stützmittel-Fracs stimuliert und ebenfalls durch Setzen eines zweiten Bridge Plugs isoliert. Danach wurde der obere Sandsteinhorizont perforiert und anschließend mit Hilfe eines weiteren Gel-Stützmittel-Fracs stimuliert. Abschließend wurden die Bridge Plugs überbohrt und ein Leistungstest (Lifttest) des gesamten Reservoirs durchgeführt. Die Stimulationsarbeiten wurden durch ein passives, mikroseismisches Monitoring in der Bohrung E GrSk 3/90 begleitet. Dazu wurde in etwa 3 800 m Tiefe ein seismischer Sensor angebracht, der zur Kontrolle und Ortung der beim Hydrofrac entstehenden Risse diente. In der Umgebung der Bohrung zusätzlich angebrachte Seismometer dienten zur Kontrolle und Identifizierung seismischer Ereignisse an der Oberfläche (Kwiatek et al. 2008).

Die Arbeiten im Rahmen des Kommunikationsexperimentes schließen sich an. Sie beinhalten sowohl Injektionsarbeiten mit begleitender Druckbeobachtung unter Bedingungen des späteren Kraftwerksbetriebes (Volumenströme bis ca. 100 m^3/h) als auch Thermalwasserförderung mit gleichzeitiger Injektion über die Dublette Gt GrSk 4/05 als Förderbohrung und E GrSk 3/90 als Injektionsbohrung.

5. Frac-Stimulation in den Vulkaniten

Die Frac-Behandlung in den Vulkaniten wurde vom 09.08.2007 bis 14.08.2007 durchgeführt (Abb. 6). Das Intervall von 4354 – 4389 m MD wurde mit einer sogenannten „Slickwater“ Behandlung stimuliert (Legarth et al. 2005). Bei der Frac-Behandlung wurde vorgesehen, während der

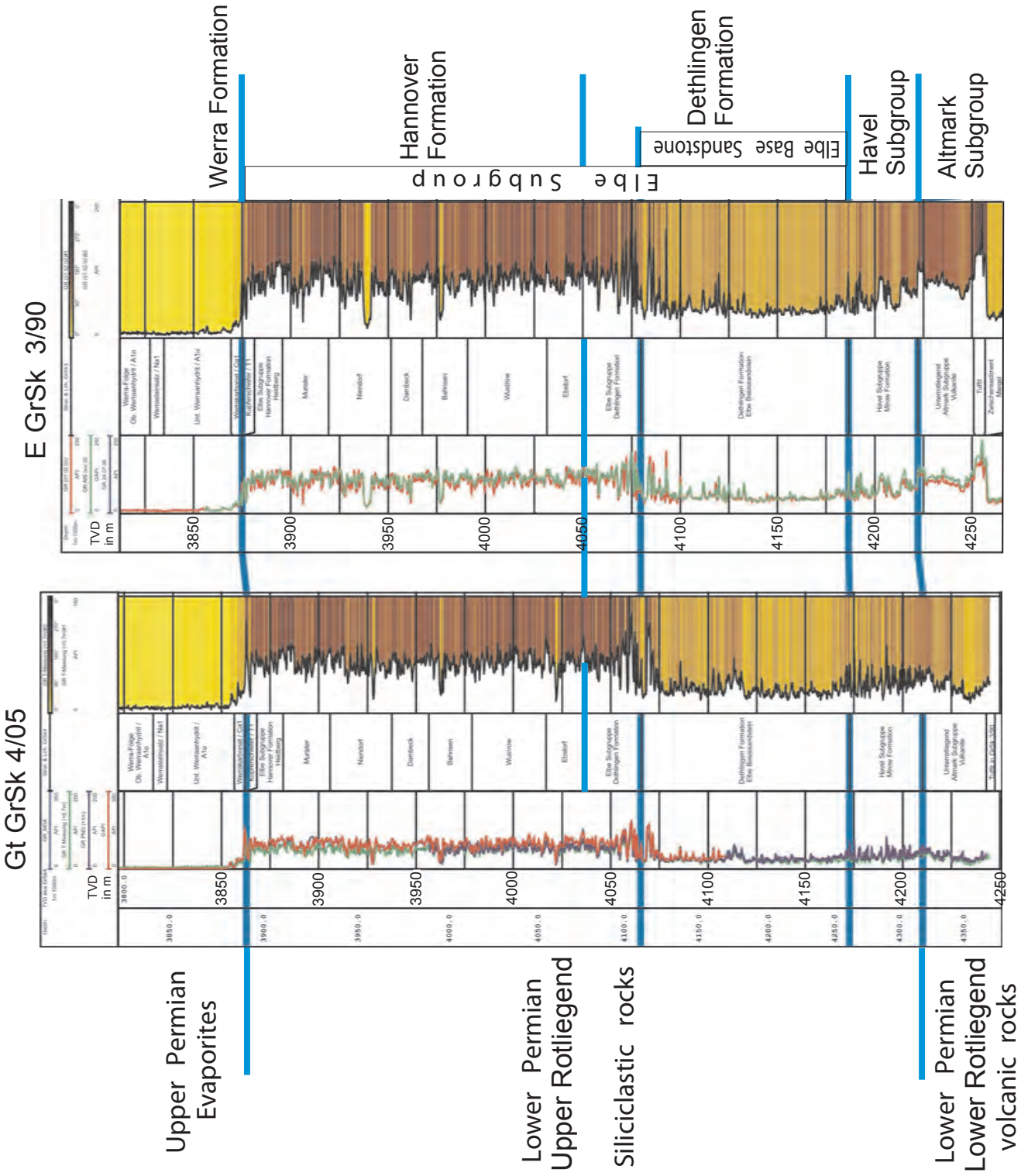


Abb. 5
Korrelation der Gamma Logs zwischen der neuen Bohrung Gt GrSk 4/05 und der nachgenutzten Bohrung E GrSk 3/90 Das Reservoirgestein besteht aus fein bis mittelkörnigem gut sortiertem Sandstein des Elbe Basis Sandsteins in der Unteren Dethlingen Formation.

Fig. 5
GR-Log correlation of the new well Gt GrSk 4/05 and the existing well E GrSk 3/90
The reservoir rock is a middle-fine grained fluvial sandstone of the Elbe Base Sandstone in the Dethlingen Formation.

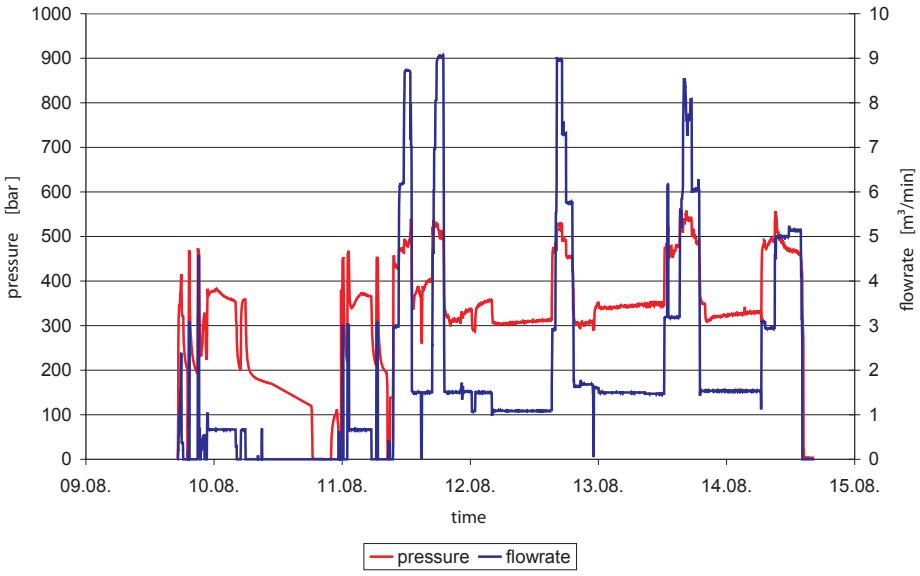


Abb. 6
Zeitlicher Verlauf der Vulkanit-Stimulation mit Fließraten und Kopfdrücken

Fig. 6
Schedule of the stimulation treatment in the volcanic rocks including flow rates and well head pressure

hohen Fließraten ein reibungsreduzierendes Additiv dem Fluid zuzugeben, um die Reibungsdruckverluste zu verringern und den daraus resultierenden Druck am Bohrlochkopf auf 580 bar zu beschränken. Der pH-Wert des Fluids wurde durch Hinzugabe von Essigsäure auf pH 5 eingestellt, um Eisenausfällungen im Reservoir und damit eine Permeabilitätsreduktion zu verhindern. Um eine nachhaltige Wirkung der Behandlung zu gewährleisten, wurde während der hohen Fließraten in geringer Konzentration Sand (20/40 mesh) hinzugefügt, um die nachhaltige Rissöffnung zu unterstützen. Der Transport des Sandes im Frac wird ausschließlich durch die hohen Fließraten realisiert, da ein Gel wegen der pH-Wert Einstellung nicht verwendet werden konnte.

Insgesamt wurden 13 170 m³ Fluide und 24,4 Tonnen Sand (20/40 mesh) injiziert. Der maximale Behandlungsdruck am Bohrlochkopf (well head) lag bei 586 bar, der durchschnittliche Behandlungsdruck bei 375 bar. Die maximale Injektionsrate lag bei 9 m³/min bei einer durchschnittlichen Rate von 2,4 m³/min während einer Gesamtpumpzeit der Behandlung von 6 369 min.

6. Monitoring

In der Nachbarbohrung E GrSk 3/90 wurde eine Pegelsonde eingebaut und der Pegel während der Stimulationsbehandlung gemessen. Es zeigte sich (Abb. 7), dass nach der ersten massiven Stimulation der Pegel in der Nachbarbohrung ein nahezu sofortiges Signal zeigte, obwohl der Abstand beider Bohrungen im Reservoir ca. 475 m beträgt. Die Ursache für diese direkte Druckantwort ist noch nicht abschließend geklärt.

Weiterhin wurde in diese Bohrung ein 3-Komponenten Geophon in 3 800 m Tiefe eingehängt und die seismischen

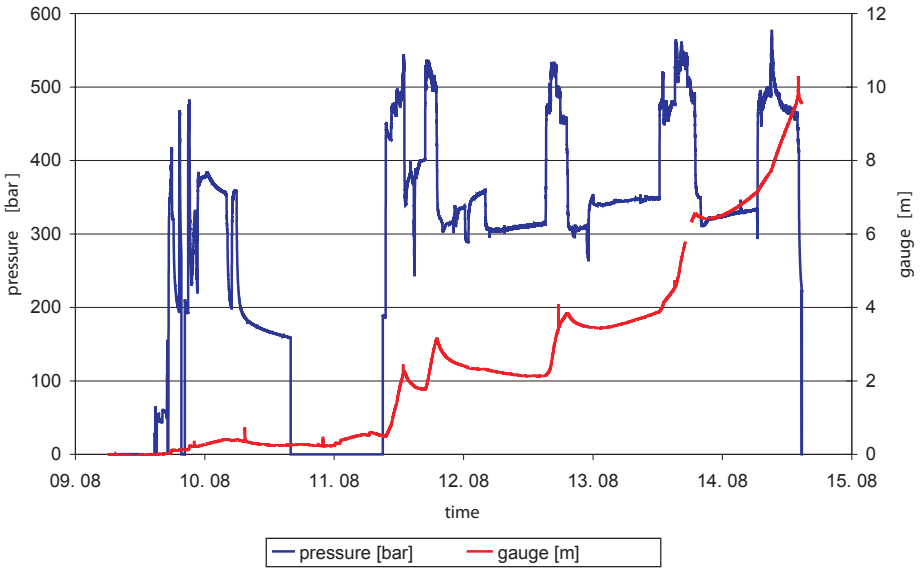


Abb. 7
Pegelanstieg in der Bohrung E GrSk 3/90 während der Vulkanit-Stimulation

Fig. 7
Change of water level in the well E GrSk 3/90 during the stimulation in the volcanic rocks

Signale während der Stimulationsbehandlung aufgezeichnet. Eine erste Durchsicht der Daten zeigt einige mikroseismische Ereignisse, die überwiegend nach den massiven Stimulationen während der geringen Fließraten oder bei dem abschließenden shut-in beobachtet wurden (Kwiatek et al. 2008).

7. Stimulation der Dethlingen Sandsteine

Die Frac-Behandlung in den Sandsteinen des Unteren Dethlingen wurde vom 18.08. bis 19.08.2007 durchgeführt. Das vorgesehene Intervall von 4 204 m - 4 209 m wurde vorher durch einen bridge plug isoliert, der in 4 300 m Tiefe gesetzt wurde, und anschließend perforiert. Zum Transport der Stützmittel wurde ein Gel mit einer hohen Viskosität gewählt (sogenanntes cross-linked gel). Es kamen zwei unterschiedliche Stützmittel zum Einsatz. Zunächst wurden Stützmittel ohne Zusatz verwendet, dann abschließend mit Harz getränkte Stützmittel, um im Bohrlochnahbereich stabile Bedingungen zu erzielen. Beide besitzen eine hohe Festigkeit und weisen eine Korngröße von 0,4 - 0,8 mm auf (20/40 mesh). Die Behandlung begann mit einem Injektionstest mit Fließraten zwischen 0,3 m^3/min und 0,57 m^3/min. Insgesamt wurden 250 m^3 bei einem maximalen Kopfdruck von 416 bar injiziert.

Anschließend wurde ein Minifrac durchgeführt, um den Frac-Gradienten zu bestimmen (0,160 bar/m). Der folgende step-down Test diente der Bestimmung der Reibungsdruckverluste durch die Perforationen. Bei der anschließenden Gel-Stützmittel-Behandlung wurden insgesamt 95 t Stützmittel und 280 m^3 Gel mit einer Fließrate von 4 m^3/min in die Sandsteine des Unteren Dethlingen verpresst (Abb. 8).

Die zweite Gel-Stützmittel-Behandlung wurde vom 23. 08. bis 24.08. 2007 in den Sandsteinen des Oberen Dethlingen durchgeführt. Der Behandlungsablauf war analog zur Stimulation im Unteren Dethlingen. Nach Isolation durch einen weiteren bridge-plug in 4 123 m wurde das Intervall von 4 118 – 4 122 m perforiert und hydraulisch stimuliert. Die Behandlung startete mit einer Injektion von 170 m^3 mit Raten zwischen 0,3 m^3/min und 0,62 m^3/min. Der Minifrac-Test ergab einen Frac-Gradienten von 0,15 bar/m. Bei der anschließenden Gel-Stützmittel-Behandlung wurden insgesamt 113 t Stützmittel und 310 m^3 Gel mit einer Fließrate zwischen 3-3,5 m^3/min in die Sandsteine des Oberen Dethlingen verpresst.

8. Interpretation der Ergebnisse

Die Vorgehensweise zur Erschließung von geothermischen Reservoiren beinhaltet die Integration von bestehenden Daten aus der tiefengeologischen Kartierung und der existierenden Gas-Exploration im Norddeutschen Becken mit Hilfe von Daten-Reprozessierung und Modellierungen, neuen Bohrungen und Reservoir-Stimulationen. Trotz seiner Unsicherheit stellt das geologische 3D-Modell des Umfelds von Groß Schönebeck zur Zeit die detailliertesten Informationen dar, bis weitere ergänzende Daten in dieses Modell integriert werden. Eine ergänzende geophysikalische Exploration ist notwendig, um klüftige Bereiche und wasserführende Störungszonen zu detektieren und abzubilden. Daher werden neu entwickelte magnetotellurische und seismische 2D-Experimente im Umfeld von Groß Schönebeck durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Explorationsmethoden sind vielversprechend hinsichtlich der Festlegung weiterer möglicher geothermischer Felder (Munoz et al. 2008).

Es wurden in diesem Projekt technische und wissenschaftliche Herausforderungen erfolgreich verknüpft, die in zukünftige Strategien zur Exploration und Erschließung für tiefe sedimentäre geothermische Systeme eingehen können, insbesondere im Bereich der Mitteleuropäischen Senke.

Während der Vulkanit-Stimulation wurde insgesamt ein Volumen von 13 000 m³ injiziert, aufgeteilt in 4 Zyklen mit

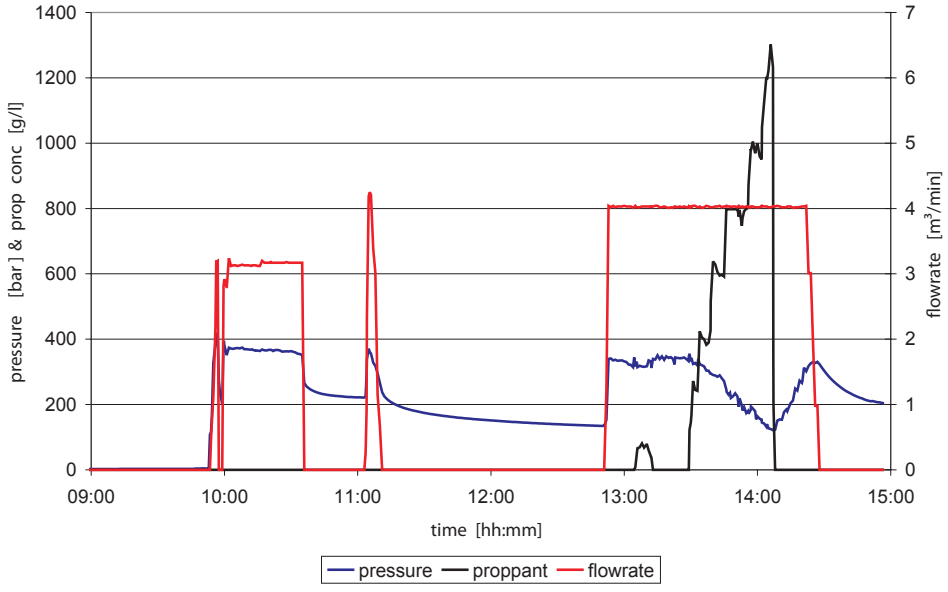


Abb. 8
Gel-Stützmittel-Frac in den Sandsteinen des unteren Dethlingen
Dargestellt sind der Leak-off Test, der Step-Rate Test und die eigentliche Gel-Stützmittel-Behandlung.

Fig. 8
Schedule of the gel-proppant frac in the Lower Dethlingen sandstones starting with a leakoff test and a step-rate test and the actual gel-proppant treatment

Fließraten von 9 m³/min und einer abschließenden Phase mit einer Fließrate von 5 m³/min. Die Zielstellung der Stimulation in den Vulkaniten war der Anschluss über die gering durchlässige Havelfolge an die Sandsteine des Unteren Dethlingen, um diese zu drainieren. Während der 4 Zyklen mit Fließraten von 9 m³/min wurden insgesamt 24 t Sand (20/40 mesh) in den Riss verpresst. Ziel war es, das Offenhalten des Risses über den eigenen Scherversatz hinaus (self propping) zu unterstützen. Das Ergebnis des abschließenden Leistungstests in Verbindung mit einem Flowmeter-Logging zeigt, dass durch den Anschluss der Vulkanite an die Sandsteine des Unteren Dethlingen ein beachtlicher Anteil am Gesamtfluss zu erzielen war (ca. 30 %). Weiterhin wurden zwei Gel-Stützmittel-Fracs in den Sandsteinen des Unteren und Oberen Dethlingen durchgeführt, die die permeablen Sandsteine nachhaltig an die Bohrung angeschlossen haben. Die Dublette in Groß Schönebeck ist damit komplettiert, und ein Thermalwasserkreislauf kann in naher Zukunft realisiert werden.

Zusammenfassung

Das sedimentäre Untere Perm (Rotliegend) ist ein bekannter Zielhorizont der Kohlen-Wasserstoff-Exploration im Norddeutschen Becken. Am Standort Groß Schönebeck wurde eine nicht-fündige Erdgasexplorationsbohrung im Jahr 2001 aufgewältigt und seither als in situ Geothermielabor genutzt. Im Jahr 2006 wurde eine zweite Bohrung abgeteuft, um eine geothermische Dublette, bestehend aus zwei etwa 4 300 m tiefen Bohrungen zu installieren. Damit soll die nachhaltige Nutzung tief liegender und Wasser führender Sedimente zur geothermischen Stromerzeugung gezeigt werden. Mit Hilfe dieser neuen Forschungsbohrung wurden speicherschonende Erschließungsverfahren unter Beachtung bohrtechnischer und sedimentologischer Rahmenbedingungen entwickelt und innovative Ansätze für eine potentielle Produktivitätserhöhung durch einen nichtvertikalen Aufschluss der Lagerstätte realisiert. Spezielle Stimulationsmaßnahmen in den aufgeschlossenen Zielhorizonten führten zur Steigerung der Produktivität. Ein abschließendes hydraulisches Kommunikationsexperiment zwischen beiden im Nutzhorizont ca. 475 m entfernten Bohrungen soll in einem weiteren Schritt die Nachhaltigkeit des Thermalwasserkreislaufes überprüfen. Anschließend ist geplant, ein geothermisches Kraftwerk am Standort Groß Schönebeck zu errichten.

Summary

The sedimentary Lower Permian is a well known target for gas exploration in the North German Basin as part of the South Permian Basin System. At this site in Groß Schönebeck a non-productive gas exploration well was reopened in 2001 and is used since then as a geothermal in-situ laboratory. In 2006 a second well was drilled to complete a doublet with two wells of 4 300 m depth. The aim of this project is to show the sustainability of deep geothermal aquifers in sediments for geothermal power generation. In the focus of the drilling strategy was the mitigation of damages with respect to drilling technology and sedimentary constraints. Furthermore, innovative approaches were applied to enhance productivity with special stimulation treatments and by non vertical drilling to assess the reservoir rock. Finally, a hydraulic communication experiment between both wells (475 m distance in the reservoir) should prove the sustainability of the thermal life cycle and subsequently will lead to an installation of a power plant in Groß Schönebeck.

Literatur

Baltrusch S & S. Klarner (1993): Rotliegend-Gräben in NE-Brandenburg. - Z. dt. geol. Ges. **144**, S. 173-186, Stuttgart

Holl, H.-G., Moeck, I. & H. Schandelmeier (2004): Geothermal well Groß Schönebeck 3/90 – A low enthalpy reservoir (Rotliegend, NE Germany). - Proceedings 66th EAGE Conference & Exhibition, F032, Paris

Holl, H.-G., Moeck, I. & H. Schandelmeier (2005): Characterisation of the tectono-sedimentary evolution of a geothermal reservoir - implications for exploitation (Southern Permian Basin, NE Germany). - Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005, S. 1-5, Antalya

Köhler, S. & A. Saadat (2003): Thermodynamic Modeling of Binary Cycles – Looking for Best Case Scenarios. - Proceedings of the International Geothermal Conference, IGC-2003 Reykjavik, Multiple integrated uses of geothermal resources, S01, Paper061, 14-19, Reykjavik

Kwiatek, G., Bohnhoff, M., Dresen, G., Schulze, A., Schulte, T., Zimmermann, G. & E. Huenges (2008): Microseismic Event Analysis in Conjunction with Stimulation Treatments at the Geothermal Research Well GtGrSk4/05 in Groß Schönebeck/Germany. - Proc. Thirty-Third Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, January 28-30, SGP-TR-184, Stanford, California

Legarth, B., Huenges, E. & G. Zimmermann (2005): Hydraulic Fracturing in Sedimentary Geothermal Reservoirs. - International Journal of Rock Mechanics and Mininig Sciences Vol. **42**, 7-8, S. 1028-1041, Amsterdam (Elsevier)

Moeck, I., Backers, T. & H. Schandelmeier (2007): Assessment of mechanical wellbore assessment by numerical analysis of fracture growth. - EAGE 69th Conference and Exhibition, 11-14 June 2007, extended abstracts volume, D047, London

Moeck, I., Brandt, W., Blöcher, G., Holl, H.-G., Zimmermann, G., Huenges, E., Saadat, A. & T. Backers (2008): From gas to geothermal exploration – A case study from the NE-German Basin. - EAGE 70th Conference and Exhibition, 09-12 June 2008, extended abstracts volume, Rome, Italy

Munoz, G., Ritter, O., Moeck, I. & K. Bauer (2008): Geophysical characterisation of the Groß Schönebeck low enthalpy geothermal reservoir. - Extended Abstracts, 70th EAGE Conference & Exhibition, 9-12 June 2008, Rome, Italy

Trautwein, U. & E. Huenges (2005): Poroelastic behaviour of physical properties in Rotliegend sandstones under uniaxial strain. - International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences **Vol. 42**, 7-8, S. 924-932, Amsterdam (Elsevier)

Zimmermann, G., Reinicke, A., Blöcher, G., Milsch, H., Gehrke, D., Holl, H.-G., Moeck, I., Brandt, W., Saadat, A. & E. Huenges (2007): Well path design and stimulation treatments at the geothermal research well GT GRSK 4/05 in Groß Schönebeck. - Proc. 32nd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, Calif./USA

Zimmermann, G., Reinicke, A., Brandt, W., Blöcher, G., Milsch, H., Holl, H.-G., Moeck, I., Schulte, T., Saadat, A. & E. Huenges (2008): Results of stimulation treatments at the geothermal research wells in Groß Schönebeck/ Germany. - Proc. 33rd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, Calif./USA

Anschrift der Autoren:
PD Dr. Günter Zimmermann
Dr. Inga Moeck
GeoForschungsZentrum Potsdam
Telegrafenberg
D-14473 Potsdam
e-mail:
zimm@gfz-potsdam.de
moeck@gfz-potsdam.de

Landesamt

Leiter der Landesgeologie Dr. Werner Stackebrandt 60 Jahre

Am 15.07.2008 wurde im Rahmen eines Festkolloquiums der langjährige Leiter der Landesgeologie und heutige Vizepräsident des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe, Dr. Werner Stackebrandt anlässlich seines 60. Geburtstags für seine Verdienste um die Belange der Geologie des Landes Brandenburg und über dessen Grenzen hinaus gewürdigt.

Nach der offiziellen Begrüßung durch den Präsidenten des Landesamtes, Herrn Dr.-Ing. Klaus Freytag, die vornehmlich die berufliche Vita des Jubilars beinhaltete, reflektierte das Vortragsprogramm des Kolloquiums in beeindruckender Weise sein damit verbundenes breites fachliches Tätigkeitsfeld.

In seiner Laudatio ging Herr Prof. Dr. Hans-Jürgen Paech, ein ehemaliger Kollege, auf die Tätigkeiten Stackebrandts

ein, die während mehrerer Antarktisexpeditionen am Zentralinstitut für Physik der Erde der Akademie der Wissenschaften der DDR in Potsdam und nach 1990 an der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Berlin, für ihn im Vordergrund standen.

Die dort gesammelten Erfahrungen und Kenntnisse hinsichtlich quartärer Landschaftsgenese und neotektonischer Vorgänge flossen permanent in seine Arbeiten ein, insbesondere seit 1992 mit seinem Wechsel zum Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Kleinmachnow, an dessen Aufbau er maßgeblich beteiligt war und dem er ab 1996 als Direktor bis zur Fusion mit dem Landesbergamt im Jahr 2004 vorstand. Seine Arbeiten fokussierten sich jedoch nicht nur auf den Brandenburger Untergrund, sondern auch auf dessen geologische Erweiterung, die Norddeutsche Senke. Insbesondere der Erforschung letzterer widmete er sich in seinem gesamten Berufsleben aus regionalgeologischer und insbesondere störungs- und neotektonischer Sicht. Entsprechend passte sich der Vortrag von Herrn Prof. Klaus Reicherter von der RWTH Aachen in das Festprogramm ein, der die Bedeutung neotektonischer Vorgänge für die Gegenwart verdeutlichte.

Neben seiner fachlichen Tätigkeit ist das große Engagement von Werner Stackebrandt als Vorsitzender der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften hervorzuheben. Zusammen mit Prof. Dr.-Ing. Friedrich-Wilhelm Wellmer als weiterem Festredner, kommen ihm besondere Verdienste bei der Zusammenführung der beiden deutschen Geologischen Gesellschaften, namentlich der Deutschen Geologischen Gesellschaft und der Gesellschaft für Geowissenschaften zu. Über eine historisch bemerkenswerte West-Ost-gerichtete Zusammenarbeit hat in seinem Festvortrag auch Herr Prof. Wellmer informiert, der über das Wirken des Universalgelehrten Leibniz referierte und damit auf die schon im 18. Jahrhundert bestehende Verbindung zwischen Hannover und Berlin (Kleinmachnow) hinwies.

Dass bei der Tätigkeit von Werner Stackebrandt der Blick auch immer auf die Geologie unmittelbar vor seiner Haustür und die Zusammenführung von Geowissenschaftlern in Ost und West in der Region gerichtet blieb, zeigte der ambitionierte Vortrag von Herrn Prof. Dr. Johannes H. Schroeder als einem der beiden Vorsitzenden des Vereins der Geowissenschaftler in Berlin und Brandenburg, dessen Arbeit der Jubilar aktiv durch seine Mitarbeit im Vorstand seit Vereinsgründung unterstützt.

Klaus Freytag
Jaqueline Strahl

Buchbesprechung

KLINGE, H., BOEHME, J. & CHR. GRISSEMANN (2007): **Standortbeschreibung Gorleben, Teil 1: Die Hydrogeologie des Deckgebirges des Salzstocks Gorleben.** - Geol. Jb. **C 71**, 147 S., 59 Abb., 4 Tab., 1 Anl., Hannover (Schweizerbart)
ISBN 978-3-510-95962-4

Der Salzstock Gorleben wird seit 1979 auf seine Eignung als Endlager für radioaktive Abfälle untersucht. Die zuständige Institution für die Bearbeitung geowissenschaftlicher Fragen bei der Endlagererkundung ist die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Über einen langen Zeitraum wurden von der BGR zahlreiche interne Fachberichte erstellt. Da das Projekt z. Z. ruht und ein zukünftiges Planfeststellungsverfahren nicht auszuschließen ist, sind diese Dokumentationen nicht allgemein zugänglich. In dem Band 1 einer vierteiligen Dokumentation der geowissenschaftlichen Untersuchungen am Standort Gorleben werden erstmalig die wesentlichen Ergebnisse der hydrogeologischen Erkundung publiziert. Der Schwerpunkt liegt in der Darstellung der Hydrogeologie des Deckgebirges und in ihrer Interpretation in Hinblick auf eventuell mögliche Ausbreitungspfade für Schadstoffe von der Salzstockoberfläche in die Biosphäre.
Die immense Fülle der Erkundungsarbeiten ist gut strukturiert und in komprimierter Form zusammengestellt. Die kapitelübergreifenden Bezugnahmen zu Befunden aus anderen Sachgebieten unterstreichen die immanente Komplexität der Themenstellung und verdeutlichen die konzeptionelle Notwendigkeit einer hydrogeologisch ganzheitlichen Interpretation. Zahlreiche prägnante Abbildungen unterstützen die klaren textlichen Ausführungen.
Das ursprünglich auf niedersächsischen Raum begrenzte Untersuchungsgebiet wurde nach Wegfall der Grenze zur DDR über die Elbe hinweg um Gebietsanteile in Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern erweitert. In dem insgesamt 475 km^2 großen Untersuchungsgebiet wurden 185 Aufschlussbohrungen und weitere 398 Grundwassermessstellen abgeteuft, die umfassend geologisch, hydrogeologisch, geophysikalisch und geohydraulisch untersucht wurden. Ergänzt wurde das Programm durch Kartierungsarbeiten, Abflussmessungen an Gewässern, elektromagnetischen Messungen vom Hubschrauber und weitere Arbeiten.

Im Kapitel -Hydrogeologie des Deckgebirges- werden der hydrogeologische Bau vorgestellt und die Schichtenfolge über dem Rupelton hydrostratigraphisch in Grundwasserleiter und Grundwassergeringleiter gegliedert. Die Oberfläche des Rupeltons ist die Basis des regionalen Grundwasserfließsystems. Die tertiären und quartären Deckschichten bilden in den Randsenken des Salzstockes ein bis zu 450 m mächtiges System, mit einem unteren Grundwasserleiter aus tertiären und elsterkaltzeitlichen Sanden und einem oberen Grundwasserleiter innerhalb saale- und weichselkaltzeitlicher Ablagerungen. Das prägende Strukturelement ist die elsterkaltzeitlich angelegte so genannte Gorlebener Rinne, in deren zentralen Bereich über der Salzstruktur gut durchlässige Sande direkt dem Hutgestein, lokal auch dem Zechsteinsalinar auflagern. Die Rinnensande sind durch den Lauenburger Ton vom oberen Grundwasserleiter getrennt. Diese röhrenartige Struktur hat (nach hydraulischen, chemischen, geothermischen Befunden) im Norden und im Süden eine hydraulische Anbindung an den Grundwasserleiter der tertiären Braunkohlensande.

Im Kapitel -Hydraulische Eigenschaften- werden die Ergebnisse von Laboruntersuchungen an Proben sowie von Pumpversuchen bewertet. Neben den hydraulischen Systemparametern werden von den Großpumpversuchen relevante Informationen zum hydrogeologischen Strukturbau abgeleitet.
Das Kapitel -Geothermische Untersuchungen- charakterisiert den Standort geothermisch, beschreibt und bewertet geothermische Indikationen zur Grundwasserbewegung und ergänzt damit hydrogeologische und hydraulische Befunde.

Das Kapitel -Grundwasserbeschaffenheit- beschreibt die Süß-/Salzwasserverteilung, typisiert die Grundwässer und erläutert die geochemischen Wechselwirkungen zwischen Grundwässern und Sedimenten. Isotopenhydrologische Untersuchungen an Grundwässern mit der Zielstellung der Altersdatierung werden dargestellt und bewertet. Sehr interessant und neu sind die Untersuchungsergebnisse an Porenwässern in Geringleiterprofilen, die eine Verifizierung der vertikalen advektiven Grundwasserbewegung ermöglichen. Die aus Grundwasserspiegel- und Drucksondenmessungen abgeleitete Hydrodynamik wird im Kapitel -Grundwasserbewegung- beschrieben und darin die spezifische und für das Projekt wichtige Problematik der Salzwasserbewegung auch für Nichtfachleute verständlich dargelegt.

Das Kapitel -Modellrechnungen- stellt die Ergebnisse der numerischen Modellierungen vor, vergleicht diese mit denen der Feldbeobachtungen und bewertet die Aussagekraft der numerischen Modellierungen. Unter den aktuellen Bedingungen der Süß-/Salzwasserverteilung im Deckgebirge werden für die Salzwässer zwei Ausbreitungspfade definiert: Ein lateraler Austrag von Sole aus der Gorlebener Rinne in die nordwestliche Randsenke, in der sich die Sole sammelt und ein vertikaler Salzwasseraufstieg in den oberen Grundwasserleiter infolge lokal erhöhter Durchlässigkeiten im abdeckenden Geringleiter. Diese Salzwässer erreichen in verdünnter Form die Grundwasseroberfläche. Eine 3D-Modellierung der Grundwasserströmung hat bei Annahme von Süßwasserverhältnissen Laufzeiten in der Größenordnung 10 000 Jahre ergeben. Dieses Ergebnis wird als konservativ bewertet. Eine 2D-Modellierung in der Gorlebener Rinne unter Salzwasserbedingungen führte zu anderen Strömungsmustern und zu längeren Laufzeiten. Eine weitergehende Quantifizierung der Salzwassertransportraten und Fließgeschwindigkeiten erfordern den Einsatz von 3D-Fließmodellen mit ortsvariabler Dichte. Diese extrem

rechenaufwändigen Modelle führten in der Vergangenheit an die Grenzen von Wissenschaft und Technik. In einem paläohydrogeologischen Regionalmodell wurde über einen Simulationszeitraum von 120 00 Jahren das Systemverhalten vom Beginn der letzten Eiszeit bis heute untersucht. Diese Ergebnisse führten zu einem besseren Verständnis der aktuellen Süß-/Salzwasserverteilung im Untersuchungsgebiet.

Im Schlusskapitel -Zusammenfassende Diskussion zur Süß-/Salzwasserdynamik im Deckgebirge- werden die wesentlichen standortspezifischen Untersuchungsergebnisse zur räumlichen Verbreitung des Süß- und Salzwassers zusammenfassend bewertet.

Die Herausgeber sind mit dieser Publikation ihrem Anspruch gerecht geworden, einen Beitrag zur Versachlichung der Diskussion um den Endlagerstandort zu leisten. Das Buch richtet sich an ein fachlich interessiertes Publikum und sollte einen breiten Leserkreis finden, weil es auch interessierten Laien die verschiedenen Untersuchungsmethoden sowie die vielschichtigen Sachverhalte und Zusammenhänge verständlich machen kann. Hydrogeologen werden wegen der grundsätzlichen Übertragbarkeit der einzelnen Untersuchungsmethoden diverse Anregungen für ihre Arbeit finden.

U. Langkutsch

KÖTHE, A., HOFFMANN, N., KRULL, P., ZIRNGAST, M. & R. ZWIRNER (2007): **Standortbeschreibung Gorleben, Teil 2: Die Geologie des Deck- und Nebengebirges des Salzstocks Gorleben**. - Geol. Jb. **C 72**, 201 S., 42 Abb., 19 Tab., 3 Taf., Hannover (Schweizerbart)
ISBN 978-3-510-95963-1

Der 2. Teil der Standortbeschreibung Gorleben beinhaltet mit dem Kapitel -Geologische und strukturanalytische Untersuchungen- die zusammenfassende Darstellung der in zahlreichen Berichten und Einzelpublikationen vorliegenden Ergebnisse zu insgesamt 281, während zweier Erkundungsetappen zwischen 1979 bis 1985 und 1996 bis 1998 niedergebrachten Bohrungen, den dazu gelaufenen quartärgeologischen und bodenkundlichen Kartierungen nebst der geophysikalischen Erkundung und den zahlreichen Spezialuntersuchungen.
Hinsichtlich letzterer wäre es wünschenswert gewesen, die wichtigsten Bearbeiter gesondert zu nennen, allen voran den kürzlich verstorbenen Kollegen Dr. Helmut Müller, da ihm grundlegende Beiträge zur Quartärstratigraphie, insbesondere des Teilgebietes Gorleben-Süd, in diesem Band zu verdanken sind.

Das Kapitel 3 widmet sich der -Beschreibung des Untersuchungsgebietes-, das neben der Salzstruktur Gorleben–Rambow, exklusive des Salzstockes Rambow (!), in seinem nordöstlichen Teil vor allem deren Randsenken umfasste. Mit der Auslassung der ostelbischen Fortsetzung der Salzststruktur werden dem Leser jedoch wichtige Informationen bezüglich möglichen Salzaufstiegs und eventuellen, auch aktuellen Subrosionsvorgängen vorenthalten.

Das Kapitel 4 -Stratigraphie, Lithologie und Lithogenese- beschreibt in kompakter Form die vor Ort angetroffene Schichtenfolge vom Zechstein bis zur Kreide, wobei das Känozoikum deutlich im Mittelpunkt steht. Neben dem durchschnittlich 600 m mächtigen, halokinetisch und glazigen beeinflussten Tertiär mit einer vom Paläozän bis zum Untermiozän reichenden marinen, vorwiegend klastischen Sedimentsequenz folgt mit einem erheblichen zeitlichen Hiatus das Quartär mit maximal 317,5 m Mächtigkeit. Eine besondere Rolle spielen hier die nur äußerst selten erfassten altquartären Ablagerungen des Bavel- und Cromer-Komplexes, die leider, obwohl von außerordentlicher vegetations- und klimageschichtlicher Bedeutung, in viel zu kurzer Form abgehandelt werden. Gleiches gilt für die komplexen Ablagerungen des Mittel- bis Jungpleistozäns, hier voran die einzelnen Kaltzeiten, beginnend mit dem Menap.

Mit dem Kapitel 5 -Regionaler Strukturbau des tieferen Untergrundes- werden zwar über das Deckgebirge deutlich hinausgehende Themen (Mohorovičič-Diskontinuität, Kristallin- und Präperm-Oberfläche, Elbe-Lineament und Zechsteinbasis) behandelt, doch sind diese Voraussetzung, um die im Kapitel 6 -Strukturbau in der Umgebung des tieferen Untergrundes- beschriebenen mesozoischen und känozoischen Strukturen in ihrem geologischen Kontext verstehen zu können.
Eingeordnet in ihr regionales Umfeld widmet Kapitel 7 sich ausführlich der Salzstruktur Gorleben–Rambow selbst, wobei hier neben der unterschiedlichen Entwicklung der Salzstöcke Gorleben und Rambow wiederum dem Känozoikum bezüglich der dort herrschenden Lagerungsverhältnisse besondere Aufmerksamkeit zukommt.

Die -Subrosion- wird ausführlich im Kapitel 8 behandelt, gefolgt von der -Bilanzierung der Salzbewegungen- (Kap. 9), der Thematik -Rezente Tektonik und rezente Krustenbewegungen- (Kap. 10) sowie dem -Salzstockaufstieg- (Kap. 11). Im Komplex gesehen die Themen, die die Eignung des Standortes Gorleben als zukünftiges Endlager besonders kritisch beleuchten sollten, wegen der fehlenden geologischen Weitererkundung des Salzstocks Rambow aber zwangsläufig unvollständig sein müssen. In diesem Zusammenhang sehr kritisch zu bewerten sind daher die Aussagen u. a. zu neotektonischen Bewegungen und Subrosionsvorgängen der letzten 128 000 Jahre, da sie vor allem anhand von Daten für den Teilbereich Gorleben-Süd getroffen werden.

Insgesamt ist es den Autoren jedoch gelungen, die Geologie des Deck- und Nebengebirges des Salzstocks Gorleben in kompakter und überwiegend gut aufbereiteter Form dem Leser nahe zu bringen, wobei eine Auseinandersetzung auch mit kritischen Stimmen zur Eignung der Salzstruktur als Endlager wünschenswert gewesen wäre.

J. Strahl

Landesamt

Jubiläen

Wir gratulieren

Herausgeber und Schriftleitung der Brandenburgischen Geowissenschaftlichen Beiträge gratulieren allen Jubilaren des Einzugsgebietes unserer Fachzeitschrift herzlich zu ihren Ehrentagen. Wir wünschen Ihnen allen eine fortgesetzt gute Gesundheit, Schaffenskraft und Freude an der Beschäftigung mit der brandenburgischen Landesgeologie.
Ihren 60. Geburtstag begingen u. a.:

Herr Dr. **Peter Nestler**, Dezernatsleiter Altbergbau des LBGR am 20.12.2007

Herr **Werner Heinrich**, Mitarbeiter im Dezernat Sanierungsbergbau des LBGR am 23.01. 2008

Herr **Peter Kendziora**, Dezernatsleiter Sanierungsbergbau des LBGR am 08.02. 2008

Frau **Barbara Sauer**, Mitarbeiterin im Dezernat Markscheide- und Berechtsamswesen des LBGR am 18.06. 2008

Herr Dr. **Werner Stackebrandt**, Stellvertr. Präsident, Leiter Bereich Geologie des LBGR, Außenstelle Kleinmachnow am 13.07.2008

Herr Dr. **Ulrich Obst**, Abteilungsleiter Braunkohlen- und Sanierungsbergbau des LBGR am 31.08. 2008

Frau **Sigrid Schnell,** Mitarbeiterin im Dezernat Archive, Bibliothek, Vertrieb des LBGR am 30.10. 2008

Herr Dr. Ing. **Manfred Kopf**, Dezernatsleiter Archive, Bibliotheken, Vertrieb des LBGR am 12.11. 2008

Verabschiedet aus dem aktiven Dienstverhältnis mit dem Land Brandenburg wurde am 8. September 2008 Herr **Dr. Jürgen Kopp**. Anlässlich eines Abschiedskolloquiums würdigten die Laudatoren Dr.-Ing. Klaus Freytag und Dr. Werner Stackebrandt nicht nur die fachliche Arbeit von Dr. Jürgen Kopp, sondern dankten ihm insbesondere auch für sein Engagement für die In-Wert-Setzung der brandenburgischen Tiefenpotenziale. Beispielgebend wird sein Enthusiasmus für die Nutzung der Kupfer-Silber-Lagerstätte Spremberg-Graustein bleiben, worüber er selbst einen informativen Übersichtsvortrag hielt. Das Abschiedskolloquium fand im Bohrkernlager und Probenarchiv des LBGR in Wünsdorf statt, das Jürgen Kopp zur nutzerfreundlichen Lithothek des Landes Brandenburg weiterentwickelt hat.

Leitung und Mitarbeiter des LBGR wünschen Herrn Dr. Jürgen Kopp privates Wohlbefinden, Gesundheit und eine erquickliche Weiterbeschäftigung mit den spannenden Fragen der brandenburgischen Geologie.

Werner Stackebrandt

	INHALT (Fortsetzung)	CONTENTS (continue)	Seite
KARSTEN BAUMANN	Zustandsanalyse von Brunnen, Grundwassermessstellen und Erdwärmesonden mittels innovativer Bohrlochmessverfahren	Status analysis of wells, groundwater observation points and borehole heat exchangers using innovative well-logging methods	81-98
HELMUT KNAPE & ARTHUR BRANDE	Geologische Verhältnisse im Bereich der archäologischen Grabungen Berlin-Biesdorf	Geological setting of archaeological excavations in Berlin-Biesdorf	99-108
KAI-UWE MAKOWSKI & SIXTEN BUSSEMER	Gliederung des Periglazials im Bereich der Tertiärscholle von Schiffmühle (Neuenhagener Oderinsel) mit Hilfe schwermineralogischer Untersuchungen	Classification of periglacial deposits in the range of a glacitectonical pushed tertiary block near Schiffmühle (Neuenhagener Oderinsel) using mineral analysis	109-118
JANA CHMIELESKI & JUTTA ZEITZ	Bodenkundliche Untersuchungen von sekundären Muddeböden in Brandenburg	Secondary developed gyttja-bearing soils in Brandenburg/Germany	119-129
JÜRGEN HALLER †, HORST LEHRKAMP & HEIDEMARIE SCHULZE	Das Große Moosbruch (Bolschoje Mochowoje Boloto) in der Kaliningradskaja Oblast, Russische Föderation, als Ziel moorkundlicher Untersuchungen	The Great Moss Bog (Bolschoye Mokhovoye Boloto) in the Kaliningrad Region, Russian Federation, as the subject for the study of peatlands	131-146
ULRICH MÜLLER & KARSTEN OBST	Junge halokinetische Bewegungen im Bereich der Salzkissen Schlieven und Marnitz in Südwest-Mecklenburg	Young halokinetic movements of the Schlieven and Marnitz salt pillows in south-western Mecklenburg	147-154
GÜNTER ZIMMERMANN & INGA MOECK	Geothermie Forschungsbohrung in Groß Schönebeck – von der Planung bis zur Stimulation	Geothermal research well in Groß Schönebeck – from design to stimulation treatment	155-164
	Kurzmitteilung	**Short news**	
HELGE ALBERT	Geowissenschaftler Berlin-Brandenburg Die 19. traditionelle 1. Mai – Exkursion in den Nationalpark Unteres Odertal	Geoscientists of Berlin-Brandenburg The 19th traditional excursion on the first of May to national park Unteres Odertal	80
	Aus dem Landesamt	**From the Survey**	
KLAUS FREYTAG & JAQUELINE STRAHL	Ehrung Dr. W. Stackebrandt	honour Dr. W. Stackebrandt	165
WERNER STACKEBRANDT	Jubiläen	Anniversaries	168
KLAUS FREYTAG	Aufsuchungserlaubnis für die Kupferlagerstätte Spremberg	Exploration permission for copper deposit Spremberg	130

	INHALT (Fortsetzung)	CONTENTS (continue)	Seite
	Buchbesprechungen	**Book reviews**	
NORBERT HERMSDORF	Geologie von Mitteleuropa	Geologie von Mitteleuropa	22
THOMAS HÖDING	ZDGG Bd. 158, H. 3/4, Rohstoff Naturstein	ZDGG Bd. 158, H. 3/4, Rohstoff Naturstein	56
ULRICH LANGKUTSCH & JAQUELINE STRAHL	Geologisches Jahrbuch **C 72**, Teil 1 und 2, Standortbeschreibung Gorleben	Geologisches Jahrbuch **C 72**, Teil 1 und 2, Standortbeschreibung Gorleben	166-167

CD - Karte der Eem -Vorkommen des Landes Brandenburg
1 : 300 000

Beilage zu:
Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge **15**, 1/2-2008

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: Anneliese.Andreae@lbgr-brandenburg.de. 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:

1994,	**Heft 1,**	**128 S.,**	**51 Abb.,**	**14 Tab.**	**Zur Quartärgliederung**
1995,	**Heft 1,**	**144 S.,**	**83 Abb.,**	**15 Tab.**	
1995,	**Heft 2,**	**96 S.,**	**37 Abb.,**	**5 Tab.**	**Neotektonik in Mitteleuropa**
1996,	**Heft 1,**	**160 S.,**	**100 Abb.,**	**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,**	**116 S.,**	**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**
2007,	**Heft 1**	**98 S.,**	**59 Abb.,**	**11 Tab.**	
2007,	**Heft 2**	**112 S.,**	**83 Abb.,**	**25 Tab.**	**Sonderheft: Rohstoffbericht Brandenburg**

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)
· 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, Außenstelle Kleinmachnow,
Bereich Geologie, Stahnsdorfer Damm 77,
14532 Kleinmachnow, Tel. 033203/36641, Fax 033203/36702

LBGR BRANDENBURG