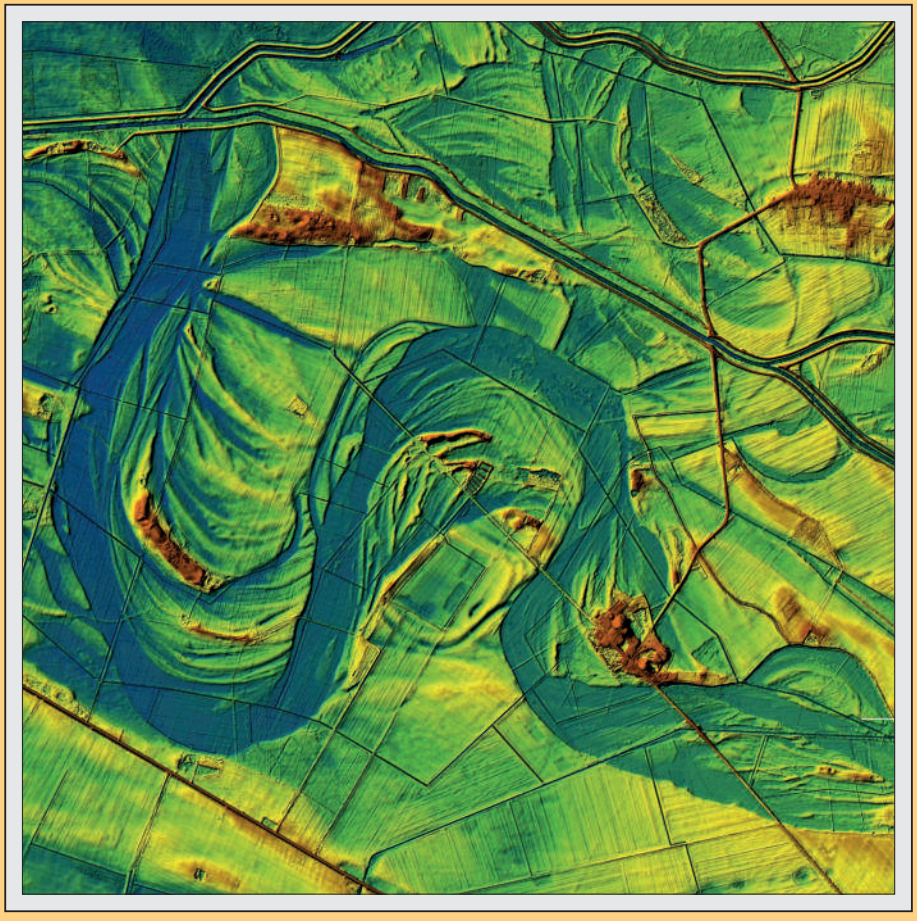
LANDESAMT FÜR BERGBAU, GEOLOGIE UND ROHSTOFFE BRANDENBURG

Band 32 · 2025

Bd. 32
2025

Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge



Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge

LBGR BRANDENBURG

Titelbild (zum Beitrag Juschus et al. S. 95–122):
Digitales Geländemodell von Mäandern der Nauen-Friesacker Urhavel bei Buchhorst (Gemeinde Rhinow, HVL). Für die Mäander wird ein Alter zwischen ca. 10 000 und 13 000 Jahren vor heute angenommen. Der Bildausschnitt umfasst ca. 5 x 5 km. Die dargestellten Höhen liegen zwischen 24 m (blau) und 27 m (braun) NHN.

© GeoBasis-DE/LGB, dl-de/by-2-0, Daten geändert

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

Schriftleitung: Sebastian Donke

Redaktionsbeirat: Dr. Jaqueline Strahl, Sebastian Donke, Sophia Rütters, Dr. Olaf Juschus, Slavomir Kowalski, Dr. Birgit Futterer, Dr. Werner Stackebrandt, Dr. Hans Ulrich Thieke, Prof. Dr. Thomas Raab, Prof. Dr. Rainer Herd, Dr. Johannes Birner, Ulrike Hörmann

Fachredaktion: Dr. Jaqueline Strahl
Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, Inselstr. 26, 03046 Cottbus
Tel. (0355) 48640-156, Fax (0355) 48640-510, e-mail: jaqueline.strahl@lbgr.brandenburg.de, http://www.lbgr.brandenburg.de

Hinweise zur Abfassung der Manuskripte sind am Ende des Heftes angegeben.
Für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren verantwortlich.

Erscheinungsweise: Die Schriftenreihe erscheint jährlich in einem Band.

Layout, Satz und Druck: LGB (Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg)

Printed in Germany
ISSN 0947-1995

Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge
Zeitschrift des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg

Liste der bisherigen Ausgaben

Band	Jahr	aus dem Inhalt (Auswahl)/Schlagworte
1	1994	Regionalgeologie Brandenburg
2	1995	XIV. INQUA-Kongress in Berlin, Quartärgeologie, Boden, Grundwasser
	1995	Sonderheft Neotektonik in Mitteleuropa
3	1996	Geotope, glazigene Deformation Rüdersdorf, Boden
Sonderheft:	1997	Ehrenkolloquium für Dr. G. Schwab
4	1997	Quartärgeologie, Hydrogeologie Berlin, Tonrohstoffe
	1998	Sonderheft: Standsicherheit Flussdeiche
5	1998	Tagung GEO-BERLIN ´98, Erdöl/Erdgas Brandenburg, Saale-Grundmoränen, Hydrogeologie
	1999	Sonderheft: Geopotentiale in Brandenburg
6	1999	Lithofazieskartenwerk Quartär, Dünenkataster, Lausitzer Triasscholle
7	2000	125 Jahre amtliche geologische Landesaufnahme, Quartär, Hydrogeologie, Raseneisenerz
8	2001	Erläuterungen zu den Neogeodynamischen Karten der Ostseesenke
9	2002	Quartärgeologie, Beiträge aus dem Landesamt, Geopark Muskauer Faltenbogen
10	2003	Airborne Laserscanning, Gefahrenabwehr in Altbergbaugebieten, Quartärgeologie
11	2004	Geothermie, Stratigraphie des Känozoikum, Tagebau Cottbus N
12	2005	Geomorphologie, Landschaftsanalyse, Pollenstratigraphie, Boden
13	2006	Regionalgeologie, ausgewählte Geopotenziale
14	2007	Quartärgeologie, stoffliche Charakteristik von Grund- und Oberflächenwässern
	2007	Sonderheft: Rohstoffbericht Brandenburg 2007
15	2008	Quartärgeologie, Archäologie, Hydrogeologie und Geothermie
16	2009	Geologie, Geopotenziale des tieferen Untergrundes, Paläoböden, Hangrutsche, Neotektonik
17	2010	Grundwasser Berlin/Brandenburg, Böden, Glazitektonik Rügen, Sandsteine Stolper Turm
18	2011	OPAL-Trasse, Chemismus von Grund- u. Oberflächenwasser, Böden
19	2012	OPAL-Trasse, Stratigr./Paläontol. Zechstein/Oberkreide/Quartär, Grundwasser, Tafeldeckgebirge
	2012	Sonderheft: Braunkohlentiefbau in Ostbrandenburg
20	2013	Hist. Braunkohlentiefbau, Geopotenziale M-V, Hydrogeol., Paläontol., Quartär, Skulpturgesteine
21	2014	Sonderheft: Rohstoffbericht Brandenburg 2014
22	2015	Sonderheft: Böden Brandenburgs
	2015	Sonderband: Bodendenkmalpflege, Spätsaale-/Eem-Vorkommen, Fundplatz Jänschwalde
23	2016	Regionalgeologie, Hydrogeologie, Geoökologie, Diapir Sperenberg, Lithologie d. Untergrunds
24	2017	Sonderheft: Grundwasserversalzung in Brandenburg
25	2018	Grundwasser Berl./Brandenburg/M-V, 3D-Modell d. Untergrunds, Stratigraphie
26	2019	Regionalgeologie, Stratigraphie, Grundwasser Berl./Brandenburg, Wölbäcker Niederlausitz
27	2020	Lithogr. Einh. Zechstein BB, Hydrogeologie B/BB, Geoökologie, Untersuchg. Litoral Usedom
28	2021	Geotopkataster Muskauer FB, Hist. Landnutzg. Berl., Geosensoren, Hydrogeol. BB, Kliff Ostsee
29	2022	3D-Tiefengeol., Standortausw.verf. Endl. in BB, GW-Sanierg. Berl., Arteserhavarien, Fossilfd. Rixd. Horiz.
30	2023	Palynostratigr. Holstein-WZ u. Unter-Saale, oberfl. lineamentartige Strukt. in UM, holoz. Flussentwickl., Karten oberfl.nahe Rohst. u. Reflexionsseism. Horiz., Dauerausstell. „Mit Dreck zu Wohlstand“
31	2024	Tagungsband und Exkursionsführer 83. Tagung der Arbeitsgemeinschaft Norddeutscher Geologen Bad Muskau

Die Einzelbeiträge stehen als PDF unter **https://lbgr.brandenburg.de/** zum Download bereit.

Die Hefte sind zu beziehen über:
Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg
Vertrieb: Telefon: (0355) 48640-177, Telefax: (0355) 48640-110
e-mail: lbgr@lbgr.brandenburg.de, Internet: www.lbgr.brandenburg.de

Digitale geologische Karten von Brandenburg sind im Geoportal unter **http://www.geo.brandenburg.de/lbgr/** abrufbar.

Weitere thematische Karten sowie ältere Unterlagen sind im Archiv des LBGR auf Anfrage verfügbar.
Ein vollständiges Vertriebsverzeichnis können Sie unter https://lbgr.brandenburg.de einsehen.

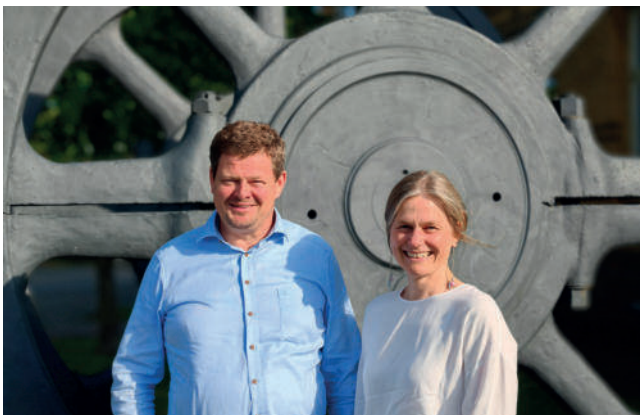
Beiträge zum Oberrotliegenden des Südlichen Permbeckens, zu den Erläuterungen der Karten der Quartärbasis und der Verbreitung der Holstein-Warmzeit und des Unter-Saale in Brandenburg und Berlin, zu geophysikalischen Untersuchungen mittels tTEM-Verfahren, zum Geologischen 3D-Modell der Lausitz, zur spätpleistozänen und frühholozänen Flussentwicklung von Havel und Elbe, zum Marzahner Fenn sowie zu laufenden Projekten des LBGR

	INHALT	Seite
S. Fritze & Dr. B. Futterer	Grußwort	5
BEITRÄGE		
Reinhard Gast	Rotliegend Paläomorphologie in Norddeutschland Paläomorphologische Rekonstruktion der Sedimentverteilung im Rotliegend des Südlichen Perm-Beckens im Vergleich zu rezenten, ariden Seeablagerungen in Nordafrika, Kalifornien und Australien Rotliegend palaeomorphology in northern Germany Palaeomorphological reconstruction of the sediment distribution in the Rotliegend of the Southern Permian Basin in comparison to recent arid lake deposits in North Africa, California and Australia	9–30
Jaqueline Strahl & Sophia Rütters	Erläuterungen zu den Karten der Quartärbasis und der limnischen und limnisch-fluviatilen Ablagerungen der Holstein-Warmzeit und des Unter-Saale in Brandenburg und Berlin: Teil 1 – Klüß-Gartow- und Gorlebener Rinne Explanatory notes on the maps of the Quaternary base and the limnic and limnic-fluvial deposits of the Holsteinian interglacial and the Lower Saalian in Brandenburg and Berlin: Part 1 – Klüß-Gartow and Gorleben channels	31–55
Tino Rosin	Geophysikalische Untersuchung mittels tTEM-Verfahren im Raum Hangelsberg Geophysical survey using the tTEM method in the Hangelsberg area	57–67
Sophia Rütters, Sascha Schmidt, Daniel Franke-Laske, Marlen Knoblauch-Sassenscheidt & Leonie Graffmann	Geologisches 3D-Modell der Lausitz – Aufbau eines länderübergreifenden Modells der känozoischen Schichtenfolgen Geological 3D model of the Lausitz – development of a transnational model of the Cenozoic sequences	69–80
Jaqueline Strahl	Dokumentation der pollenstratigraphischen Untersuchungen zur Verbreitung der Holstein- bis Unter Saale-zeitlichen Ablagerungen im Gebiet zwischen Calau und Lauchhammer (Brandenburg) sowie Großenhain (Sachsen) Documentation of the pollen stratigraphic investigations on the distribution of the Holsteinian to Lower Saalian deposits in the area between Calau and Lauchhammer (Brandenburg) as well as Großenhain (Saxony)	81–93
Olaf Juschus, Claus Dalchow, Ralf Dannowski, Sławomir Kowalski, Jaqueline Strahl & Mirosław Błaszkiewicz	Von der Urhavel zum heutigen Havellauf – Zur weichselspätglazialen und frühholozänen Flussentwicklung der Havel From Paleo-Havel to present Havel River – On Late Pleistocene to Early Holocene river development of Havel River	95–122

	INHALT	Seite
Werner Stackebrandt	Das Marzahner Fenn in Westbrandenburg – ein ganz besonderes Gletscherzungenbecken The Marzahne Fenn in West Brandenburg - a very special glacial tongue basin	123–128
PROJEKTE IM LBGR		
Tobias Recke, Maria Wetzel & Angela Hermsdorf	KIMoDIs – KI-basiertes Monitoring-, Datenmanagement- und Informationssystem zur gekoppelten Vorhersage und Frühwarnung vor Grundwasserniedrigständen und -versalzung KIMoDIs – AI-based monitoring, data management and information system for coupled prediction and early warning of low groundwater levels and salinisation	131–133
Nils Bischoff, Søren Tygesen & Iben Kirchberg Nilsson	Salzwasserintrusion im Trinkwasserentnahmegebiet Sekær Saltwater intrusion in the Sekær drinking water abstraction area	135–137
Judith Walter, Robert Milewski, Robert Skoruppa, Elena Tsutskikh, Sabine Chabrillat & Albrecht Bauriegel	Nutzung von hyperspektralen Fernerkundungsdaten der EnMAP Mission zur räumlichen Ableitung von Bodenparametern auf Ackerstandorten in Brandenburg Use of hyperspectral remote sensing data from the EnMAP mission for spatial derivation of soil parameters at arable sites in Brandenburg	139–140
Robert Skoruppa, Judith Walter, Christian Lehr & Albrecht Bauriegel	Bewertung der Bodenfruchtbarkeit und Kohlenstoffversorgung Brandenburger Böden Assessment of soil fertility and carbon supply in Brandenburg soils	141–144
Judith Walter & Julien Guillemoteau	Geophysikalische multi-Sensor Untersuchungen in der bodenkundlichen Landesaufnahme Geophysical multi-sensor investigations in soil science surveying	145–147
Arvid Markert, Daniel Altdorff, Albrecht Bauriegel, Peter Biró, Till FRancke, Peter M. Grosse, Maik Heistermann, Sabine Attinger & Sascha E. Oswald	Ein neues Bodenfeuchte-Messnetz in Brandenburg: Cosmic-Ray Neutron Sensing (CRNS) als Basis zur repräsentativen Messung des Bodenwassergehalts A new soil moisture monitoring network in Brandenburg: Cosmic-Ray Neutron Sensing (CRNS) as a basis for representative measurement of soil water content	149–151
Jürgen Müller, Tina Thrum, Judith Walter, Holger Müller & Albrecht Bauriegel	Aufbau einer Spektrenbibliothek im nahen und mittleren Infrarot zur Ableitung von Bodenparametern Establishment of a spectrum library in the near and mid-infrared range for deriving soil parameters	153–156

	INHALT	Seite
Sebastian Weinert, Luisa Schreier, Thomas Höding & Birgit Futterer	2D-seismische Erkundung in der Niederlausitz – eine Chance für die tiefengeologische Landesaufnahme und die tiefe Geothermie 2D seismic exploration in Lower Lusatia – an opportunity for deep geological mapping and deep geothermal energy	157–159
Katrin Sieron, Sebastian Weinert, Franz Vogel, Amirreza Abadi chalaksaraee & Thomas Höding	Potenzielle Wiedernutzung von Altbohrungen aus Brandenburg für Geothermische Anwendungen (Transgeo Projekt) – Praktische Erwägungen Potential reuse of old boreholes from Brandenburg for geothermal applications (Transgeo Project) – Practical considerations	161–166
KURZMITTEILUNGEN		
Thomas Höding	Auf den Spuren der Salinarstrukturen. Tagungsbericht zum Salinarworkshop 2024 des LBGR On the trail of saltworks structures. Conference report on the LBGR‘s 2024 saltworks workshop	169–172
Konrad Schuberth & Ute Gebhardt	Die traditionelle 1.-Mai-Exkursion des Vereins „Geowissenschaftler in Berlin und Brandenburg“ am 01.05.2024: Geologie des Saaletals zwischen Rothenburg und Wettin. The traditional May excursion of the association ‘Geoscientists in Berlin and Brandenburg’ on 1 May 2024: Geology of the Saale Valley between Rothenburg and Wettin	173–176
Dr. Olaf Juschus & Sebastian Donke	Workshop zur Stratifizierung und Korrelation quartärer Ablagerungen in Norddeutschland mittels Provenance-Analysen Workshop on stratification and correlation of Quaternary deposits in northern Germany using provenance analyses	177
AUS DEM LANDESAMT		
Sebastain Fritze, Sebastian Donke & Lucas Meyer	Verifizierung der Gefährdungsbeurteilung einer illegalen, unter Wasser liegenden Abfallablagerung im Tontagebau Marienthal-Trottheide Verification of the risk assessment of an illegal submerged waste deposit in the Marienthal-Trottheide clay pit	181
Uwe Sell	Best Practice Forum Stromnetzausbau in Cottbus Best Practice Forum on Electricity Grid Expansion in Cottbus	183
Stefan Beyer	20 Jahre Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg – Ein Rückblick und Ausblick auf die Zukunft 20 years of the Brandenburg State Office for Mining, Geology and Raw Materials – a review and outlook for the future	185

Sehr geehrte Damen und Herren,



gemeinsam freuen wir uns, Ihnen auch in 2025 unsere Brandenburgischen Geowissenschaftlichen Beiträge präsentieren zu können und zu dürfen. Wir kommen dabei weiterhin einer Verpflichtung aus unserem Errichtungserlass aus dem Jahr 1992 nach, nämlich der Herausgabe von Veröffentlichungen aus dem Aufgabenbereich des Amtes. Dabei möchten wir einerseits unsere Arbeiten nicht nur bereitstellen, sondern diese auch transparent und verständlich vermitteln. Ebenso freuen wir uns über zahlreiche Beiträge von Kollegen und Kolleginnen außerhalb des LBGR.

Zu den regionalgeologischen Schwerpunkten in diesem Heft reflektieren unsere Autoren über ein breites Spektrum an geowissenschaftlichen Themen. Angefangen von der paläomorphologischen Rekonstruktion der Sedimentverteilung im Rotliegenden des Südlichen Permbeckens bis hin zu jüngeren Ereignissen, wie der Entstehung des Gletscherzungenbeckens Marzahner Fenn oder der spätpleistozänen bis frühholozänen Flussentwicklung der Unteren Havel und der Unteren Elbe.

Gerne betonen wir die aktuelle Bandbreite an Projekten, an denen wir beteiligt sind. Im Bereich der Bodengeologie gilt es, Kohlenstoffvorräte an landwirtschaftlich genutzten Standorten hinsichtlich ihrer Menge und räumlichen Verteilung abzuschätzen. Mittels CosmicRay Neutron Sensing (CRNS) unterstützen wir ein Bodenfeuchtemonitoring an ausgewählten Standorten und kooperieren mit wissenschaftlichen Einrichtungen zur Nutzung, Prozessierung und Bewertung von Fernerkundungsdaten zur räumlichen und zeitlichen Ableitung von Bodenparametern an Ackerstandorten in Brandenburg.

Im Bereich Wasserhaushalt und Hydrogeologie befinden wir uns mit dem Projekt KIMoDIs (KI-basiertes Monitoring-, Datenmanagement- und Informationssystem zur gekoppelten Vorhersage und Frühwarnung vor Grundwasserniedrigständen und -versalzung) mit unserem Teilprojekt Salinarfrüherkennung in der Halbzeit. Nicht nur bereichs-, sondern auch ressort- und länderübergreifend arbeiten wir am Projekt Grundwassermodell Lausitz. Den tieferen Untergrund mit seinen Nutzungs- oder auch Nachnutzungspotenzialen beleuchten wir ebenfalls mit zwei weiteren zusätzlichen Projekten: TRANSGEO und 2D-Seismik Niederlausitz. Diese Projekte stellen wir hier in Teilen hinsichtlich ihres Arbeitsstandes vor und sind gespannt auf die Ergebnisse.

Es bleibt uns wichtig zu erwähnen, dass die Suche der Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) nach einem Endlager für radioaktive Abfälle nur sehr langsam voranschreitet. Aktuell werden von den Verantwortlichen Zeiträume genannt, die das Ziel in 2031 einen Standort zu finden, nicht mehr erreichbar machen. Im Rahmen der Veröffentlichung von Arbeitsständen im November 2024 wurde zwar für 4 von 17 Teilgebieten im Land Brandenburg eine Einordnung der Kategorie D (ungeeignet) vorgenommen. Diese Teiluntersuchungsräume der Kategorie D sollen im Rahmen der Phase 1 (von 3 Phasen!) des Standortauswahlverfahrens nicht weiter berücksichtigt (D-Gebiete) werden. Bis zur Entscheidung des Bundestags nach §15 Abs. 3 StandAG muss dennoch für diese Gebiete bei Vorhaben >100 m weiterhin das Einvernehmen mit dem BASE nach §21 StandAG hergestellt werden.

Und was haben wir als LBGR seit Erscheinen der letzten Ausgabe erreicht?

Das zurückliegende Jahr, seit dem Erscheinen des Bandes 33 der Brandenburgischen Geowissenschaftlichen Beiträge, gestaltete sich für das LBGR als sehr ereignisreich. Neben der Ausrichtung der 83. Tagung der Arbeitsgemeinschaft Norddeutscher Geologen in Bad Muskau sowie der bodenkundlichen Tagung zum Thema „Rekultivierung, Bewertung und Nutzung von Böden in Bergbaufolgelandschaften“ in Cottbus, wurden länderübergreifende Workshops durchgeführt, welche sich mit den Themen Salinarstrukturen in Nord-Deutschland und der chronostratigraphischen Einordnung mittels Kleingeschieben befassten. Im Bereich der Energieleitungen haben wir das Best-Practice-Forum durchgeführt, ein Workshop zu Genehmigungsverfahren von Energieleitungen. Dieser Workshop stand unter der Ägide, die Genehmigungsverfahren zu effektivieren und zu beschleunigen, um schlussendlich die Energiewende und den dafür notwendigen Netzausbau voranzutreiben. Das 20-Jährige Be-stehen des LBGR haben wir gebührend gefeiert und getreu dem Motto „20 Jahre LBGR – Wir sind ein Wegbereiter des Wandels“ auch kritisch zurückgeblickt, um gemeinsam optimistisch in die Zukunft zu schauen und um nicht nur die Zukunft des LBGR, sondern auch die des Landes Brandenburg aktiv mit zu gestalten und zu sichern.

Wir wünschen eine spannende Lektüre!

Glück Auf!
Sebastian Fritze und Dr. Birgit Futterer

BEITRÄGE

Brandenburg. Geowiss. Beitr.	Cottbus	Bd. 32/2025	S. 9–30	18 Abb., 1 Tab., 54 Lit.

Rotliegend Paläomorphologie in Norddeutschland
Paläomorphologische Rekonstruktion der Sedimentverteilung im Rotliegend des Südlichen Perm-Beckens im Vergleich zu rezenten, ariden Seeablagerungen in Nordafrika, Kalifornien und Australien

Rotliegend palaeomorphology in northern Germany
Palaeomorphological reconstruction of the sediment distribution in the Rotliegend of the Southern Permian Basin in comparison to recent arid lake deposits in North Africa, California and Australia

Reinhard Gast

1 Einleitung

Eine erfolgreiche Rotliegend-Exploration im südlichen Perm-Becken in Norddeutschland (Abb. 1) hängt von der Fähigkeit ab, das Vorkommen von Reservoir-Sanden des Erg-Dünentyps (trockene Wüste) oder des küstenparallelen Reservoir-Sandgürteltyps vorherzusagen. Da die Faziesverteilung innerhalb eines Beckens von der Paläomorphologie und dem Klima gesteuert wird, wurde eine Studie durchgeführt mit dem Ziel, die Paläomorphologie in die Modellierung des Ablagerungsraumes und in die Vorhersage von Lagerstättensanden zu integrieren (Gast 1997). Vor allem die Sandsteine des Küstengürtels sind nicht nur für die Exploration auf Erdgas von sehr großer Bedeutung, sondern könnten auch in Zukunft für die Nutzung von Erdwärme (Geothermie) und zur Lithium-Gewinnung eine große Rolle spielen. Die Lithium-Gehalte könnten wegen des direkten Kontakts mit den Salzseeporenwässern in dieser Zone höher sein als in den landwärtig gelegenen Dünensanden. Höher als die Lithium-Gehalte im Rheintal, die bereits gewonnen werden, sind sie auf jeden Fall.

Während der Ablagerung der Oberrotliegend-Sedimente war die Absenkung des Südlichen Perm-Beckens hauptsächlich auf thermische Subsidenz der Kontinentalplatte zurückzuführen, die auf großräumige tektonische Verschiebungen während des Oberkarbons und des Unterrotliegend folgte (Bachmann & Hoffmann 1995; Glennie, Pugh & Goodall 1994; Ziegler 1990). Durch die Trennung vom offenen Meer zeigt die Sedimentationsgeschichte des Oberrotliegend überwiegende eine Beeinflussung durch aride kontinentale Bedingungen (Plein 1978, 1993; Verdier 1996; Van Wees et al. 2000; Gast et al. 2010) (Abb. 2, 3).

Tektonisch beeinflusste Perioden während der Geschichte des Oberrotliegend II beschränken sich auf drei Ereignisse, die durch eine geringe Diskordanz zwischen Havel und Elbe-Untergruppe, eine Basalt-Intrusionsphase, mit der eine Störung des zyklischen Musters im Wustrow-Schichtglied verbunden ist, und schließlich die Öffnung des Seeweges zur Zechstein-Ingression durch Rifting dokumentiert sind (Glennie & Buller 1983; Gast & Gundlach 2006; Legler 2006). Die maximale Ausdehnung des epikontinentalen Beckens betrug etwa 1 500 km in E–W-Richtung und etwa 300 km in N–S-Richtung. Eine absolute Zeitskala für das Rotliegend wurde von Menning (1995) und Menning et al. (2022) veröffentlicht.

Eine kontinuierliche Subsidenz eines Sedimentbeckens in einem ariden Klima ist ein ausgezeichnetes Modell, um die Auswirkungen selbst kleiner klimatischer Veränderungen auf die Sedimentation zu untersuchen. Das Untersuchungsgebiet mit dem perennialen Oberrotliegend-Salzsee im Norden und der Randwüste im Süden und Osten ist durch mehrere hundert Öl- und Gasbohrungen in den alten Bundesländern und entsprechend vielen in den neuen Bundesländern gut bekannt. Von den Tiefbohrungen aus den Salzseegebieten in Ostdeutschland ist außerdem viel Kernmaterial vorhanden (Mingram 1988; Legler et al. 2011). Gebhardt (1994) hat die Genese der Rotliegend-Salinare beschrieben und auch eine Massenbilanz berechnet, wobei marine Ingressionen eine Rolle gespielt haben, aber von den Brom- und Chlor-Gehalten her auch rein kontinental erklärt werden können.

Der Einfluss klimatischer Veränderungen auf den Oberrotliegend-Seespiegel wurde bereits in den ersten Jahren der Rotliegend-Exploration erkannt (Trusheim 1971; Glennie

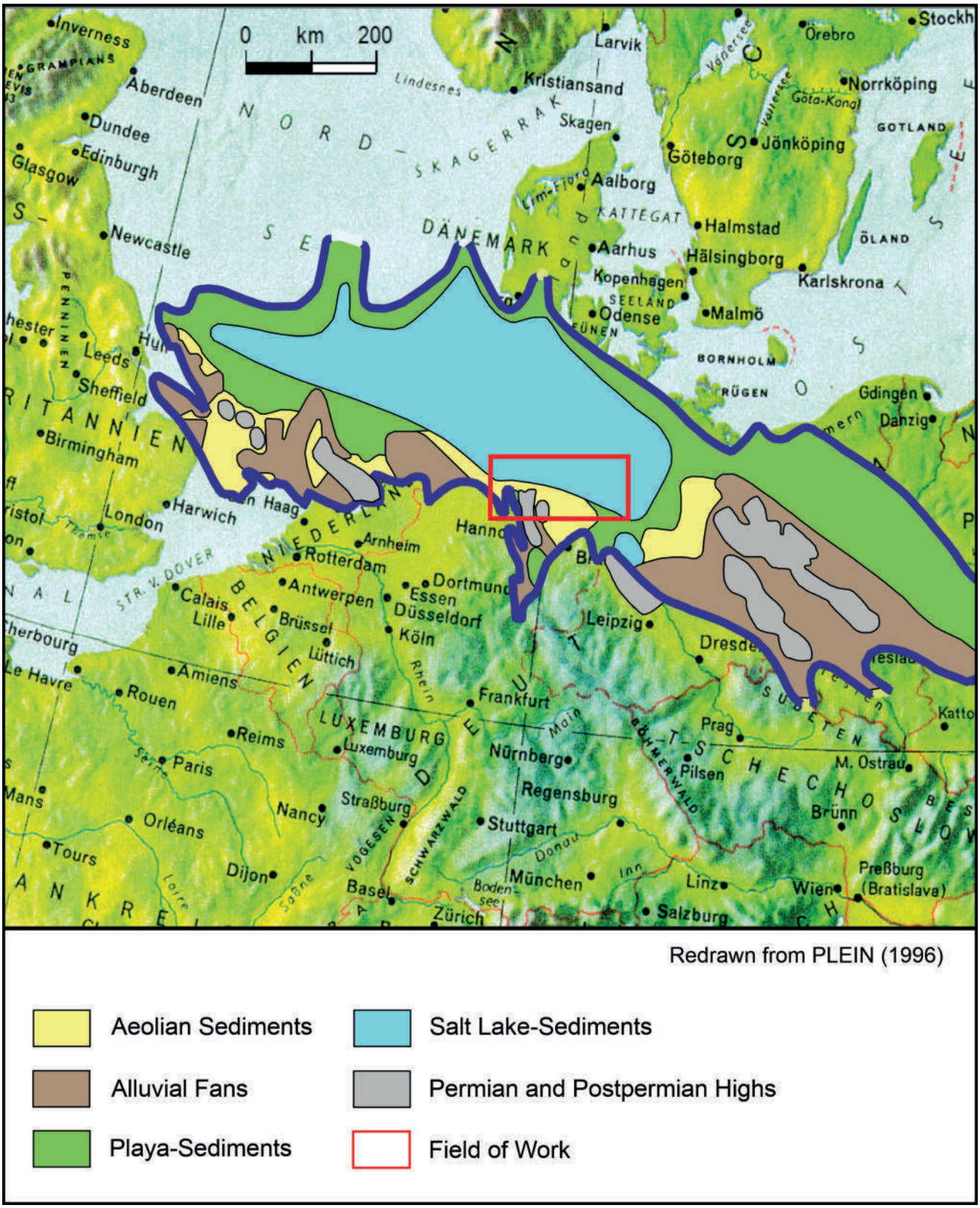


Abb. 1: Übersicht über das südliche Perm-Becken mit den wichtigsten Faziesbereichen im Oberrotliegend. Das Arbeitsgebiet von Abb. 2 liegt in dem Rechteck nördlich von Hannover.

Fig. 1: Overview of the southern Permian Basin with the most important facies areas in the Upper Rotliegend. The working area shown in Fig. 2 is located in the rectangle north of Hanover.

Abb. 2:
Oberrotliegend Dünen im Steinbruch „Sventesius“ bei Bebertal im Flechtingener Höhenzug. Die Sandsteine besitzen immer noch Porositäten von ~10–12 % und Durchlässigkeiten von ~10–30 mD. Die Grainflow-Schichten der Dünen werden als Gehwegplatten verwendet.

Fig. 2:
Oberrotliegend dunes in the ‘Sventesius’ quarry near Bebertal in the Flechtingen mountain range. The sandstones still have porosities of ~10-12 % and permeabilities of ~10-30 mD. The grainflow layers of the dunes are used as pavement slabs.

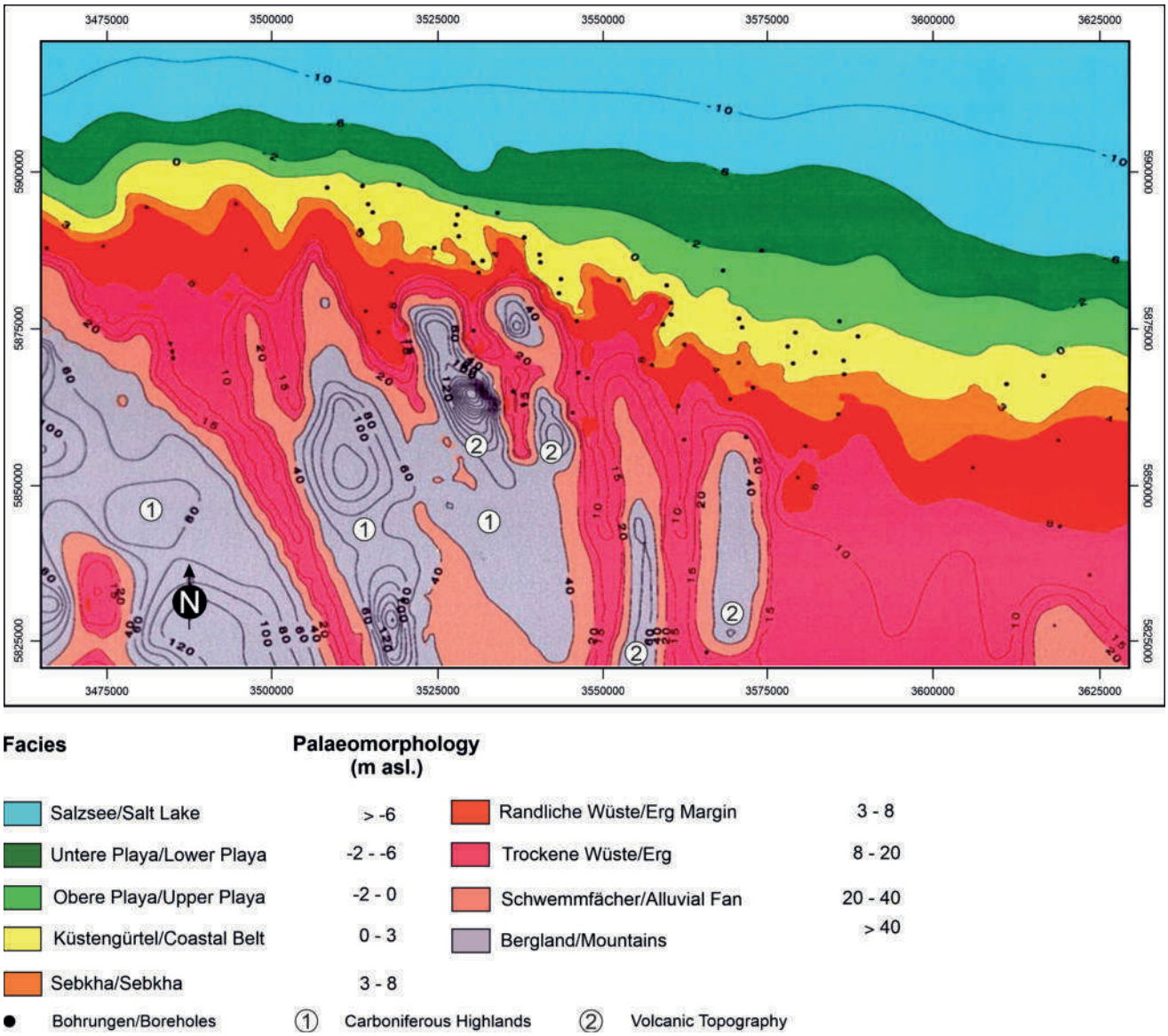


Abb. 3: Karte der Paläomorphologie und wichtigsten Fazieseinheiten der Zeitscheibe des niedrigsten Wasserstands im Wustrow-Schichtglied (Sequence Boundary). Die Lage des Gebietes siehe Abb. 1

Fig. 3: Map of the paleomorphology and the most important facies units of the time slice of the lowest water level in the Wustrow stratigraphic unit (Sequence Boundary). See fig. 1 for the location of the area.

1972). Die Prinzipien der klimatisch bedingten Schwankungen eines Seespiegels wurden schon in den frühen geologischen Forschungen, zum Beispiel von Walther im Jahre 1900, beobachtet und beschrieben.

In ariden Regionen der Erde gibt es große Schwankungsbreiten der Seespiegel (z. B. extrem mit ca. 300 m für den Great Salt Lake/Lake Bonneville, Walther 1900; Currey 1990). Nicht nur das Ausmaß der Schwankungen kann groß sein, sondern auch die kurzfristigen Schwankungen beim Auffüllen eines Beckens und beim Wiederabsinken des Seespiegels. Der große australische Lake Eyre beispielsweise füllte sich im Winter 1949 und fiel erst 2 Jahre später trocken (King 1956), wobei er ausgeprägte Strandsand-Bildungen mit Strandhaken hinterließ, die im Luftbild gut zu erkennen sind.

Für großräumige Schwankungen mit Seespiegeländerungen in der Größenordnung von 100 m oder mehr, wie die des Bonneville-Sees, des Salton Sea Basins und des Quaidam-Beckens (Chen & Bowler 1986; Gast 1991), sind jedoch in der Regel langfristige klimatische Veränderungen erforderlich.

2 Zyklostratigraphischer Ansatz als Voraussetzung für Paläomorphologie

2.1 Analyse klimatischer Zyklizität anhand von Bohrlochmessungen und Subsidenzraten

Die Interpretation von Bohrlochmessungen aus Rotliegend-Bohrungen (Gamma-Ray und Sonic), zusammen mit Beobachtungen an Spülproben und Bohrkernen, ermöglichen die Untersuchung der sedimentären Zyklizität in Seen und in Seerandgebieten. In dicht erbohrten Regionen ist die Zyklizität auch in landwärtigen äolischen Abfolgen erkennbar (Gast 1992; Kocurek 1988, 1996). Sowohl die großräumige als auch die kleinräumige Klimazyklizität zeigt sich am besten in Logs und Bohrkernen von Seerandgebieten, die naturgemäß am stärksten von kleinräumigen Seespiegelschwankungen betroffen sind. Ein schematischer Schnitt nördlich von Hannover durch den Oberrotliegend Salzsee über den Unterrotliegend-Vulkaniten und sein Hinterland ist in Abbildung 4 dargestellt. Er zeigt die sedimentäre Entwicklung des Oberrotliegend von dem Vulkanit an der Basis bis zur Zechsteintransgression.

Die Erhaltung und Auflösung selbst kleinräumiger Milankovich-Zyklen von ca. 20 000 Jahren (Milankovitch 1941) kann in der Tat so gut ausgeprägt sein, dass sie in der Auflösung fast mit Eiskernanalysen der jüngeren Vergangenheit vergleichbar sind (z. B. Berger et al. 1992; Strasser et al. 2006). Die Zeitvergleiche sind etwas ungenau, da sich die Periodizitäten im Laufe der Erdgeschichte verlangsamt haben (Berger et al. 1992).

Aufgrund der größeren Zeitspanne, die abgedeckt wird, und damit der größeren Mächtigkeit der Ablagerungen, können die größeren Zyklen von ca. 100 000 und 400 000 Jahren allerdings meistens besser unterschieden werden als die 20 000 Jahreszyklen (Abb. 5).

Das in Abbildung 5 gezeigte Beispiel stellt eine Bohrung dar, die in einer randlichen Playa-Umgebung liegt und deshalb die Kombination von 20 000, 100 000 und 400 000 Jahres-Zyklizität am besten zeigt.

Infolge der gut etablierten Zyklizität der Oberrotliegend-Sedimente basiert der zugehörige stratigraphische Standard in Deutschland auf der beckenweiten Korrelation von zeitäquivalenten Sedimentzyklen (Schröder et al. 1995). Ein ähnlicher zyklisch-stratigraphischer Ansatz wurde von Ladipo (1997) für das Oberrotliegend in den Niederlanden veröffentlicht. Eine weitere Methode zur Analyse des Zyklizitätsmusters von Sedimenten ist die von Yang & Baumfalk (1994) entwickelte automatische Spektralanalyse von Wireline-Logs, die mit den Milankovitch-Zyklen oder biologischen und absoluten Zeitmarkern abgeglichen werden kann.

Die Plausibilität der angewandten klimatischen Zyklizität in den Oberrotliegend-Sedimenten kann überprüft werden, indem ein anderes Zyklusszenario mit zum Beispiel 100 000 statt 400 000 Jahren modelliert wird. Das Ergebnis wäre eine viermal höhere Senkungsrate für die untersuchte Sedimentbeckenfüllung. Borer & Harris (1991) verwendeten diesen Ansatz für die Analyse der Subsidenzsraten der Yates-Formation des amerikanischen Perm-Beckens. Sie stellten fest, dass eine Rate von 5,2–14,3 cm/1 000 a ein realistischerer Wert ist als das Resultat einer sehr viel schnelleren Absenkung, wenn man eine falsche Zyklizität anwenden würde. Die dort gefundenen Raten lassen sich gut mit den hiesigen Subsidenzsraten vergleichen, die zwischen 4 cm am Beckenrand und 24 cm/1 000 a im Beckenzentrum des norddeutschen Oberrotliegend beobachtet wurden (Abb. 6). Einige Subsidenzraten im Unterrotliegend wurden in Ostdeutschland auf der Basis biostratigraphischer Zonen, teilweise in Gebieten mit aktivem Rifting, berechnet und ergaben Werte zwischen 6,3 cm und 38 cm/1 000 a im Tuchener Trog (Gaitzsch 1995).

2.2 Kompaktionsfrage

Die oben genannten Daten lassen alle die Kompaktion nach der Ablagerung unberücksichtigt. In einer salzhaltigen Seeumgebung, in der die Sedimente überwiegend aus tonhaltigen, salz- und gipszementierten Sedimenten bestehen, spielt die Kompaktion jedoch wahrscheinlich nur eine geringe Rolle. Es wird angenommen, dass der Großteil der Setzung oder Entwässerung der Tonsteine sowie die frühe Diagenese-Zementierung nach einigen tausend Jahren nahezu abgeschlossen sind. Aufgrund der sehr frühen Zementierung sind die eingeschalteten Küstensandsteine oft erstaunlich gut erhalten und sicherlich weniger von der Kompaktion betroffen als die äolischen Sandsteine des Erg-und Ergrand-Bereichs. Hier führte die Kompaktion der Oberrotliegend-Sedimente zu einer

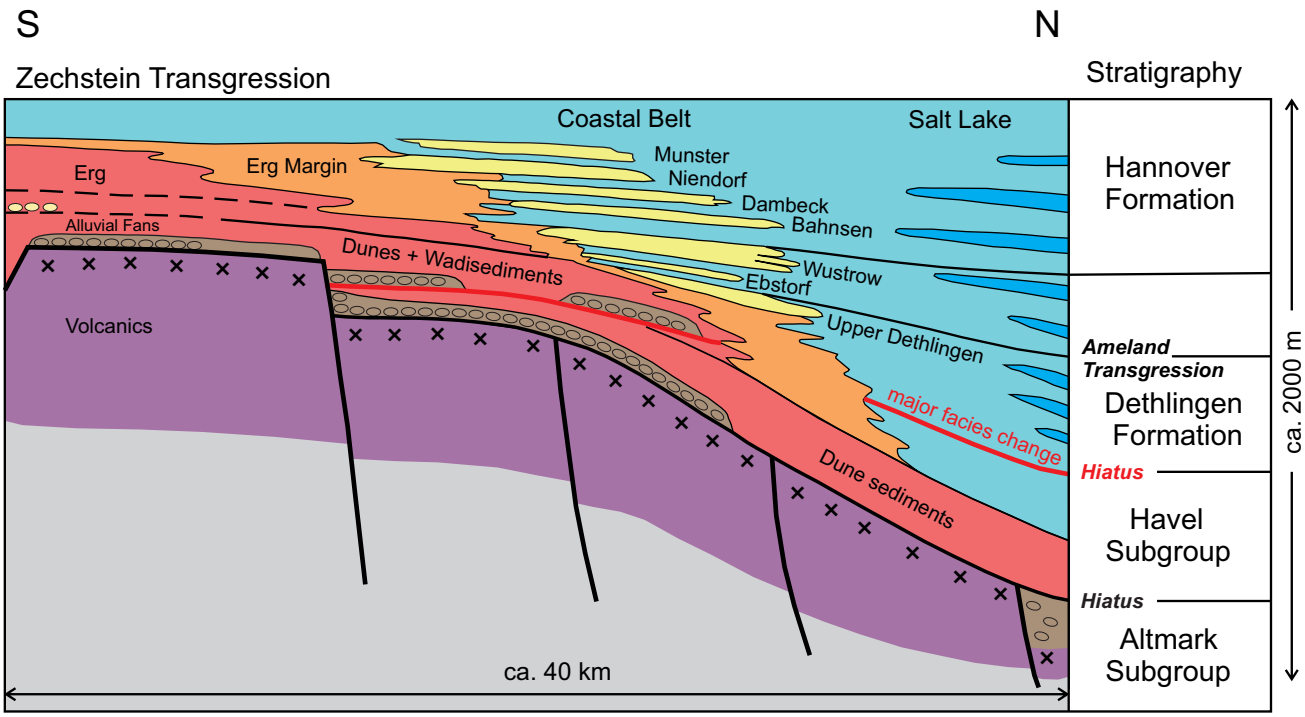


Abb. 4: Vereinfachter Querschnitt des Oberrotliegend-Beckens mit den wichtigsten chronostratigraphischen Grenzen. Die mittlere Beckenrandneigung beträgt ca. 0,35 m/km. Die Lücke zwischen Altmark-Vulkanit und der Havel-Subgruppe entspricht der Müritz-Subgruppe (Oberrotliegend I).

Fig. 4: Simplified cross-section of the Upper Rotliegend Basin with the most important chrono-stratigraphic boundaries. The average basin margin slope is approximately 0.35 m/km. The gap between the Altmark Vulcanite and the Havel Subgroup corresponds to the Müritz Subgroup (Oberrotliegend I).

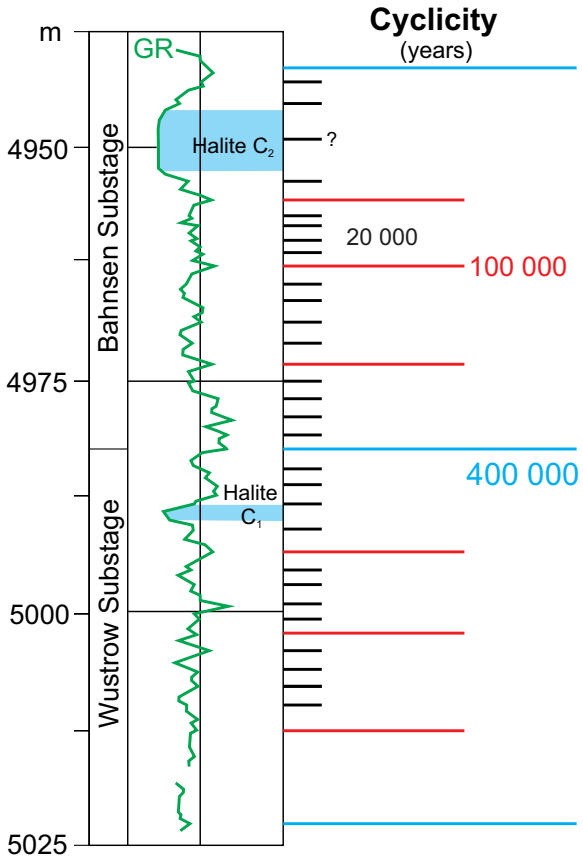


Abb. 5: Gammaray-Log einer Beckenrandbohrung im Oberrotliegend mit überwiegend Playa- und Playa-See-Sedimenten. Es zeigt eine Klimazyklizität in der Größenordnung von etwa 400 000, 100 000 und 20 000 Jahren.

Fig. 5: Gammaray log of a basin margin borehole in the Upper Rotliegend with predominantly playa and playa lake sediments. It shows a climatic cyclicity in the order of about 400 000, 100 000 and 20 000 years.

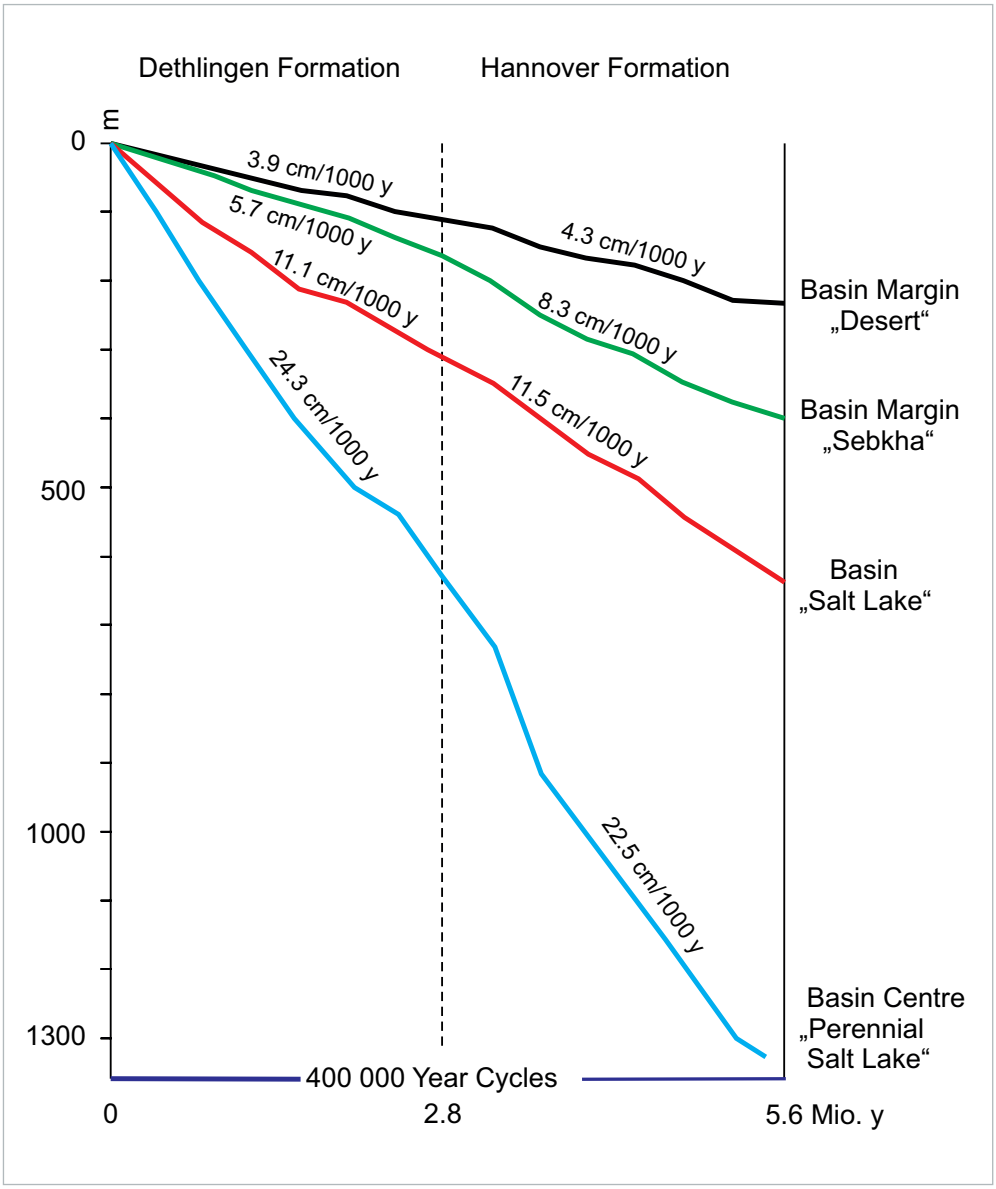


Abb. 6: Oberrotliegend-Subsidenzraten von verschiedenen Stellen des Oberrotliegend-Beckens. Die Raten wurden auf der Grundlage der Klimazyklizität berechnet, wobei die Kompaktion nicht berücksichtigt wurde.

Fig. 6: Upper red tide subsidence rates from different locations in the Upper Rotliegend basin. The rates were calculated on the basis of climatic cyclicity, whereby compaction was not taken into account.

Verringerung der Porosität um 20–30 %, wenn man eine Absenkungstiefe von 3 500 m bis 5 500 m berücksichtigt. Die verbleibenden Porositäten der äolischen Reservoire erreichen allerdings immer noch hohe Werte von bis zu mehr als 20 %, was mit den Sandsteinen der Küste vergleichbar ist (Gaupp et al. 1993).

3 Methoden der Paläomorphologie-Rekonstruktion und Vergleich mit rezenten Salinarbecken

3.1 Der Akkommodationsraum und die Rekonstruktion von Gefällegradienten

Der Akkommodationsraum bzw. Akkumulationsraum ist definiert als der Raum in einem sich bildenden Becken, der für die Ablagerung von Sedimenten zur Verfügung steht. Er lässt sich am besten abschätzen, wenn die stratigraphische Aufzeichnung hinreichend genau ist und wenn die Kompaktion der Sedimente berücksichtigt wird. Unter der Voraussetzung, dass die Kompaktion der klastischen Ablagerungen in diesem „Hungerbecken“ (starved basin) nach relativ kurzer Zeit weitgehend abgeschlossen war, kann die Absenkungsrate für jeden Sedimentationszyklus berechnet werden. Nach dem Vergleich der Mächtigkeiten an verschiedenen Bohrlochstandorten können für jede stratigrafische Ebene Hangneigungen abgeleitet werden.

Die Rekonstruktion von Hanggradienten durch Borer & Harris (1991) für den nordwestlichen Schelf im amerikanischen Perm-Becken ergab 0,5 m/km und 1,7 m/km für den Hang ins Zentralbecken. Diese Autoren berechneten die Neigungsgradienten mit einer vergleichbaren Methode, die sich ebenfalls auf eine gut etablierte Chronostratigraphie und den Vergleich mit den an verschiedenen Bohrlochstandorten im Becken erhaltenen Sedimentaufzeichnungen stützt.

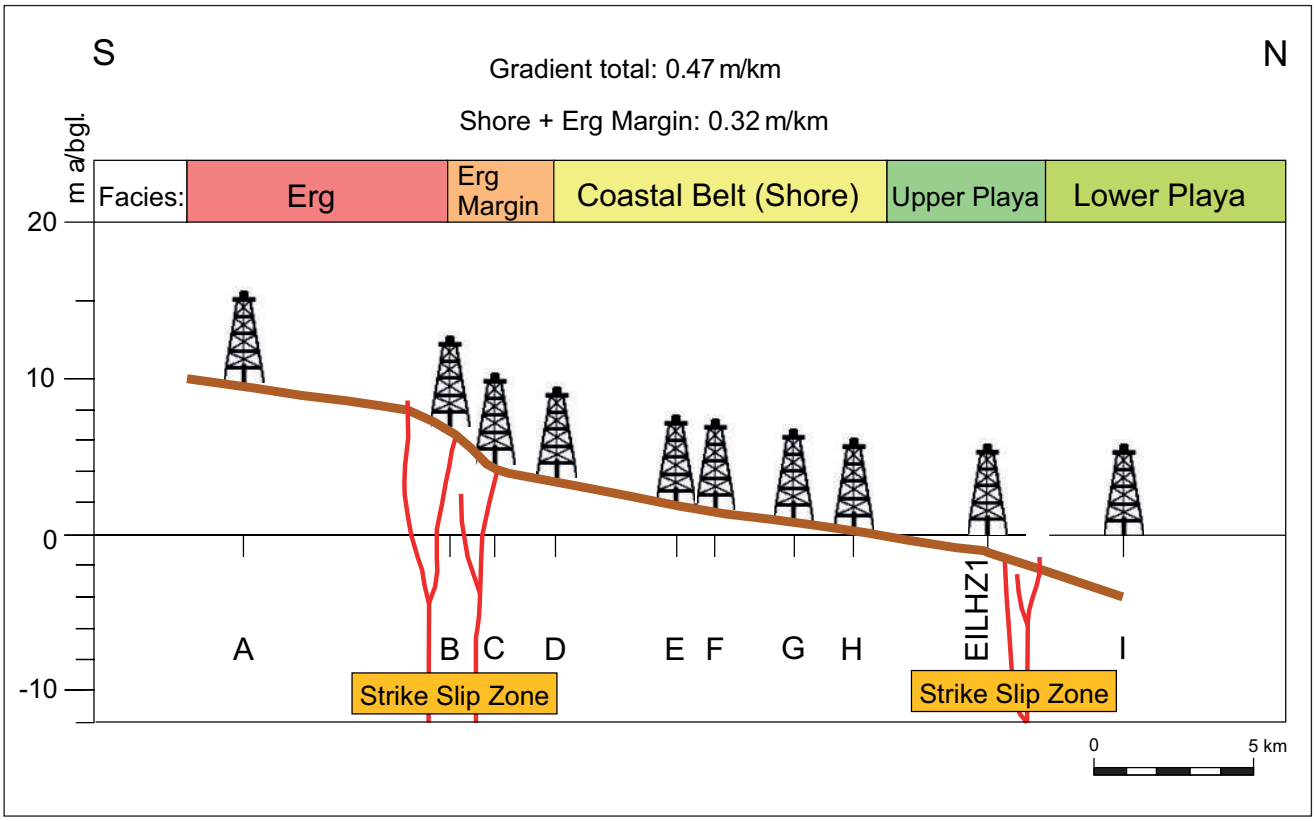


Abb. 7: Paläomorphologischer Nord-Süd-Querschnitt entlang der Grabenachse des Schneverdinger Grabens nördlich von Hannover.
Fig. 7: Palaeomorphological north-south cross-section along the ditch axis of the Schneverdinger Graben north of Hanover.

Beispiele für das südliche Perm-Becken werden hier für den Wustrow-Zyklus gegeben, der den wichtigsten Speichersandstein im Oberrotliegend darstellt (Abb. 7, 8–10). Die Gradienten wurden auf der Grundlage von Karten berechnet, in denen die Konturlinie -10 m unter dem Basisniveau in den beckenzentralen Gebieten und die Konturlinie +10 m über dem Grundwasserspiegel (Basisniveau) im Hinterland dargestellt ist.

Die größten Steigungen, die zwischen 1,1 und 1,4 m/km lagen, wurden im Allgemeinen entlang von Profilen gemessen, die sich von alten karbonischen oder vulkanischen Höhenlagen in das Becken hinein erstrecken. Die geringsten Gradienten wurden für die Gebiete in der Nähe der niederländischen Grenze mit 0,3 m/km entlang eines Paläo-Ästuars, 0,25 m/km am nördlichen Ende der Hessischen Senke in Niedersachsen und 0,2–0,5 m/km am östlichen Ende des ostdeutschen Oberrotliegend-Teilbeckens berechnet.

In den Gebieten, in denen die Wustrow-Sandstein-Lagerstätten eine hervorragende Lagerstättenqualität aufweisen, sind die Hangneigungen im Allgemeinen höher und liegen zwischen 0,3 m/km entlang der Grabenachsen (Gasfelder Söhlingen und Munster) und 1,3–1,4 m/km auf den etwas höher gelegenen Flächen zwischen den großen Gräben (Felder Nord-Hannover und Soltau). Die Häufung besser sortierter Reservoir-Sandsteine entlang steilerer Hänge wurde auch von Borer & Harris (1991) diskutiert. Die besten Lagerstättentrends sind entlang der nördlichen Ränder der Horste zu beobachten, die die großen Grabensysteme trennen.

3.2 Vergleich mit rezenten Salzseen

Der Vergleich mit rezenten Salzseen zeigt eine ähnliche Verteilung von Faziesgürteln um die Seen und auch vergleichbare Gradienten des Grundwasserspiegels. Die enorme Größe des meist perennialen Oberrotliegend-Sees (Gast 1991), der mit seiner Länge von 1 500 km und 300 km Breite einem epikontinentalen Meer ähnelt, wird deutlich, wenn man das 50 x 35 km kleine Satellitensalzbecken Ostdeutschlands in Abb. 8 mit dem nur ca. doppelt so großen Chott el Djerid (100 x 70 km) in Tunesien vergleicht. (Abb. 9)

Der im Vergleich zu den niedersächsischen Gebieten umfangreichere Süßwassereintrag in dem ostdeutschen Teil des Oberrotliegendbeckens lässt sich an der größeren Entfernung des ersten Salzvorkommens vom Ufer ablesen. Die gleiche Beobachtung wurde in der Nähe der niederländischen Grenze gemacht, wo ebenfalls ein höherer Anteil an Süßwasserzuflüssen mit fluvialen Sedimenten in den Oberrotliegend-Sandsteinen angetroffen wurde.

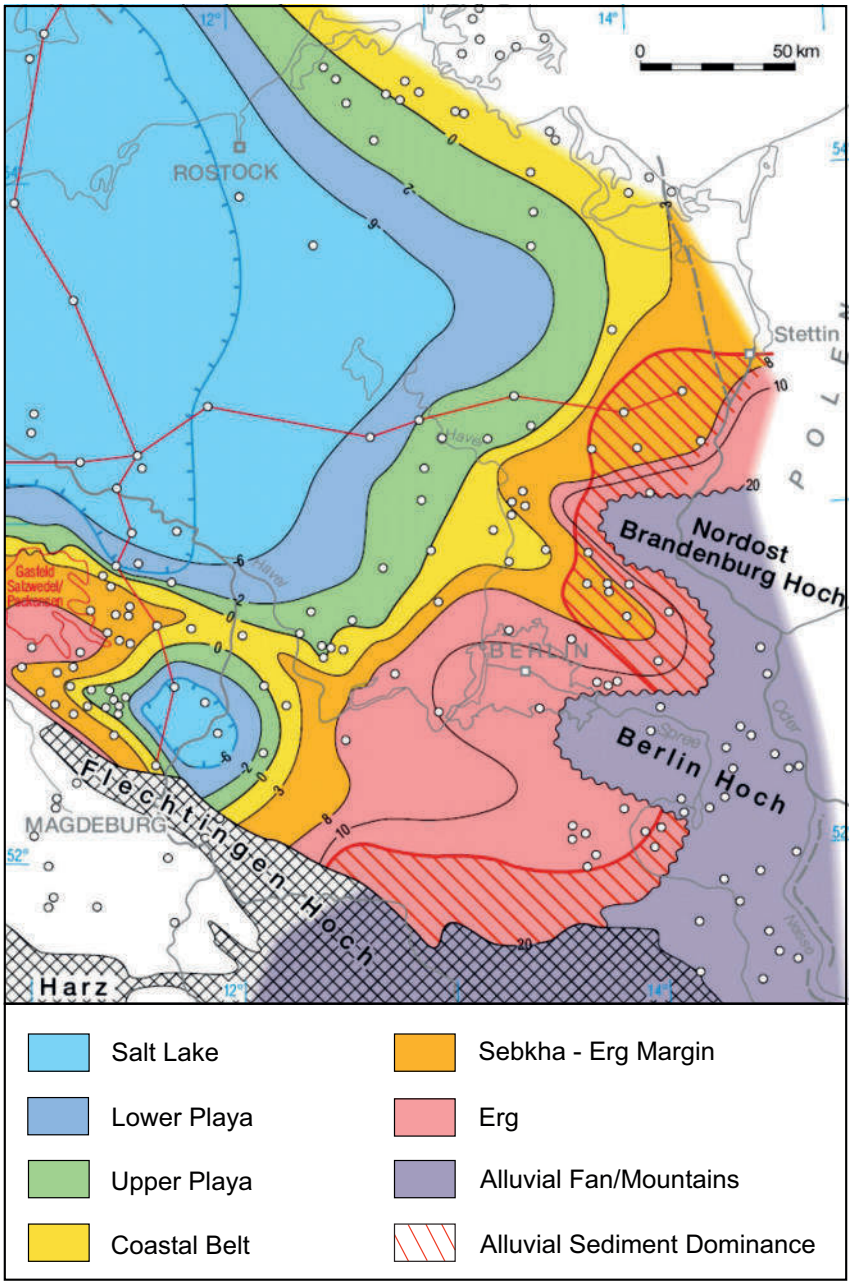


Abb. 8:
Paläomorphologie und Faziesverteilung des Oberrotliegend Wustrow-Sandsteins im Oberrotliegend Ostdeutschlands. Die Isolinien mit positiven Werten geben die Höhen über dem Basisniveau (Grundwasserspiegel) und die negativen Werte Tiefen unter dem Seespiegel an (Jahreshöchststand des Salzsees). Bohrungslokationen des Altmark-Feldes wurden ausgelassen (aus Gast et. al 1999). In Katzung ab 1983 (z. B. Katzung 1995) wird das Berlin Hoch als Ostbrandenburg-Schwelle und das Nordost Brandenburg Hoch als Oderbruch-Schwelle bezeichnet.

Fig. 8:
Palaeomorphology and facies distribution of the Upper Rotliegend Wustrow Sandstone in the Upper Rotliegend of eastern Germany. The isolines with positive values indicate the heights above the base level (groundwater level) and the negative values indicate depths below the lake level (annual maximum level of the salt lake). Borehole locations of the Altmark field were omitted (from Gast et. al 1999). In Katzung from 1983 onwards (e.g. Katzung 1995), the Berlin High is referred to as the East Brandenburg Threshold and the Northeast Brandenburg High as the Oderbruch High.

3.2.1 Beispiel Chott el Djerid

Die Fazieskarte Abbildung 9 des Salzseengebiets vom Chott el Djerid in Tunesien zeigt eine Region mit schneller rezenter Subsidenz bei noch bestehender Hebung des Atlasgebirges im Norden des Salzsees und daher viel höheren Hangneigungen als im Oberrotliegend-Becken. Dennoch eignet sich dieser Salzsee als Vergleich, weil der Gefällegradient überwiegend nur die Breite eines Faziesgürtels bestimmt. Die Verteilung der Gesteinsschichten an der Oberfläche wird jedoch überwiegend durch die Höhe des Bodens bzw. der Oberfläche über dem Grundwasser bzw. dem Basisniveau bestimmt. Man beachte, dass die Ablagerung der Erg-Sedimente bei ca. 8 m über dem Grundwasser beginnt (mdl. Mitt. Glennie 1999). Die Größe des Chott el Djerid entspricht dem kleinen Satelliten-Salzbecken nördlich des Flechtingen Hochs von Abbildung 8. Ein Querschnitt über den Salzsee in Abbildung 10 verdeutlicht die tektonische Situation mit steilem Anstieg zum Atlasgebirge und kleinen Randbecken wie dem Chott el Gharsa parallel zur Auffaltung des Gebirges. Ein ehemaliger höherer Wasserstand im Becken ist in fossilen Uferwällen (beach ridges) aus der letzten Eiszeit und dem hohen Wasserstand danach erhalten.

3.2.2 Beispiel Tschadsee

Der Tschadsee mit einer rezenten Größe von 240 x 200 km ist in seiner Flächenausdehnung eher als der Chott el Djerid mit der Fläche des ostdeutschen Teils des Oberrotliegend-Sees vergleichbar. Nach Rognon (1979) bedeckte der See bei maximaler Ausdehnung im Holozän (vor 6000 Jahren) eine

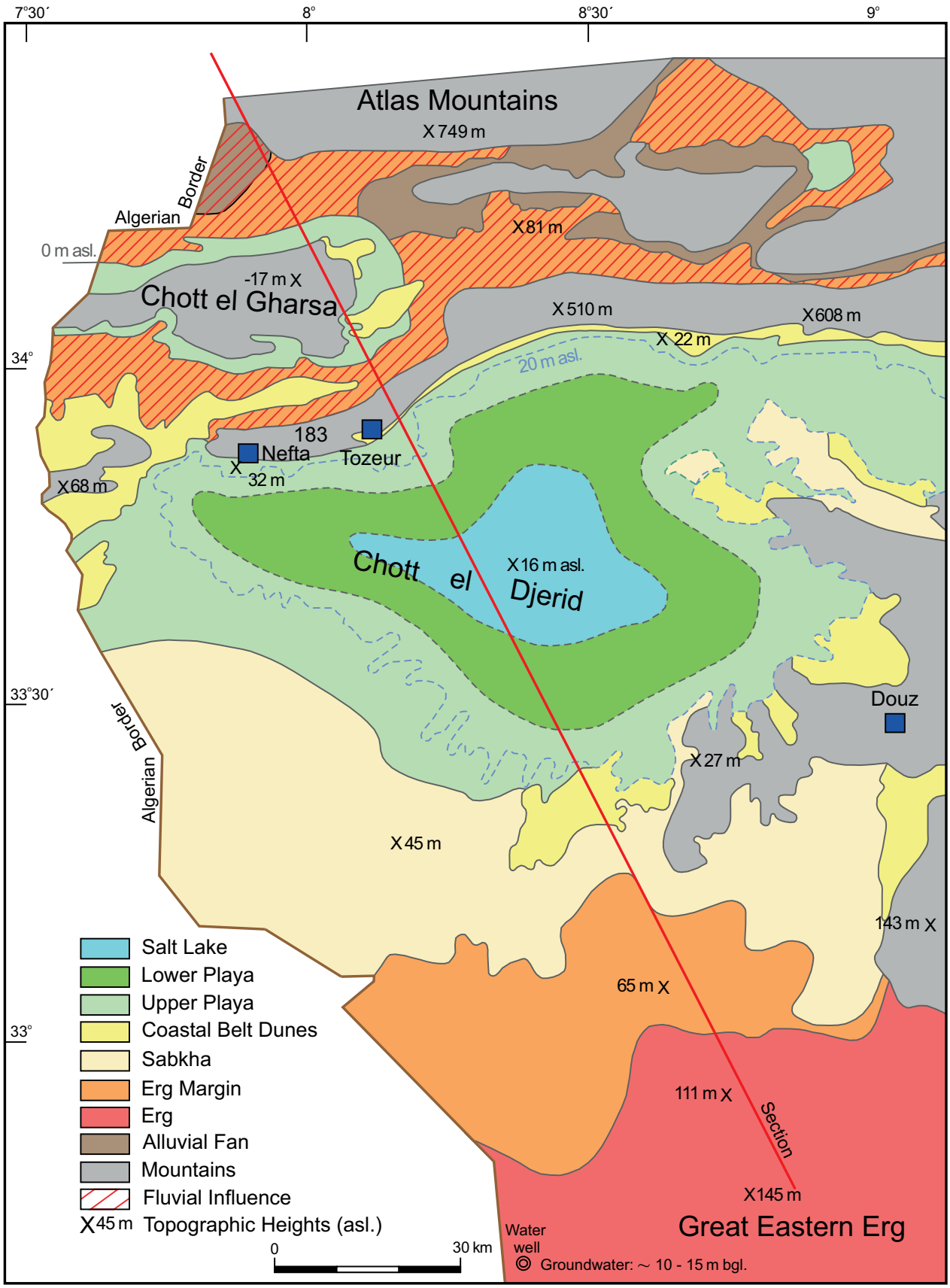


Abb. 9: Fazieskarte des Salzseengebiets von Chott el Djerid in Tunesien. Kleinere küstennahe Dünen (Sebkha- Erg Margin-Bereich) sind in Gelb und die trockenen Dünen des „Great Eastern Erg“ im Süden in Rot dargestellt.

Fig. 9: Facies map of the salt lake area of Chott el Djerid in Tunisia. Smaller dunes near the coast (Sebkha-Erg Margin areas) are shown in yellow and the dry dunes of the ‘Great Eastern Erg’ in the south in red.

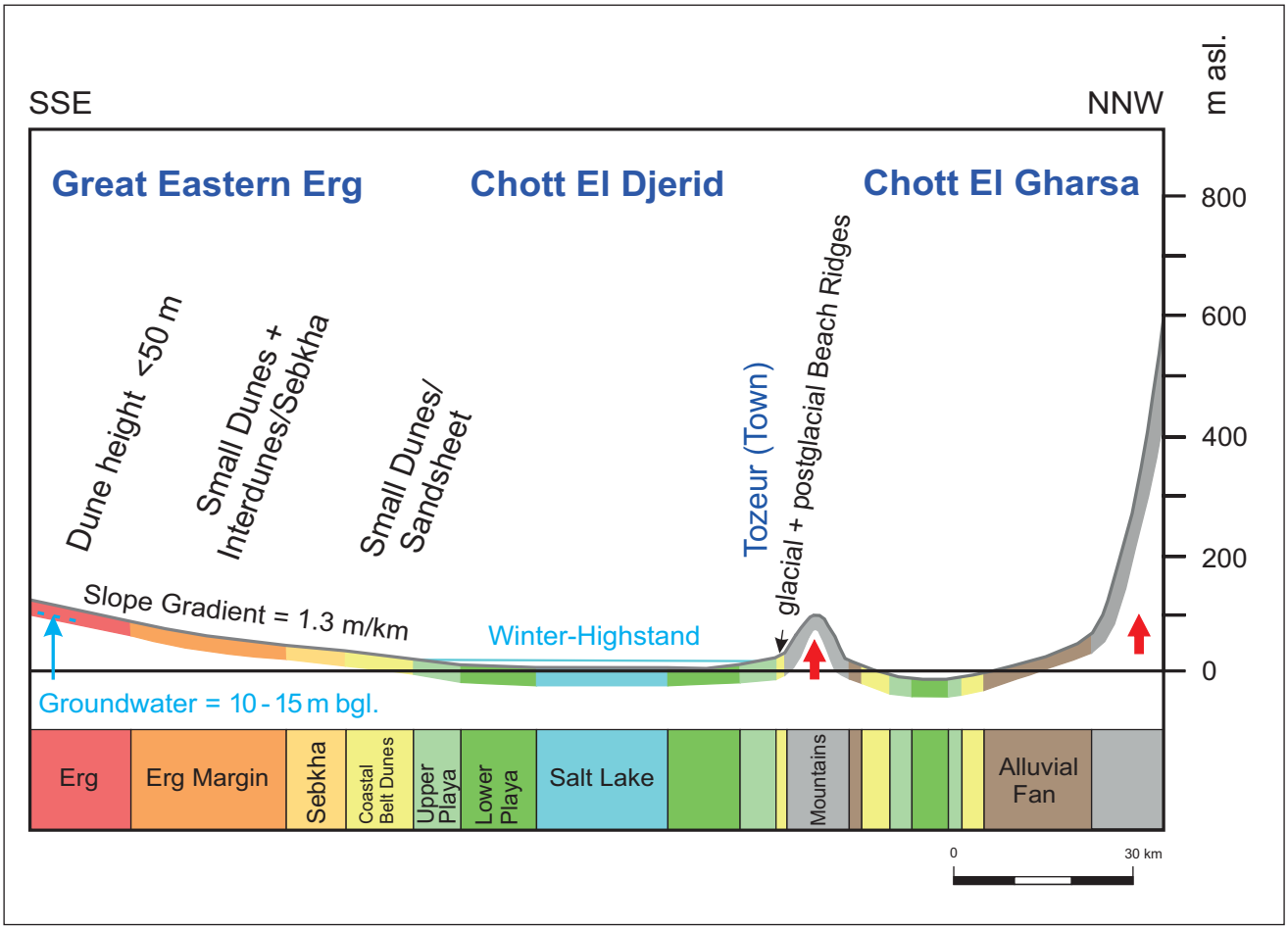


Abb. 10: Morphologischer Querschnitt mit der Verteilung der rezenten Fazies im Verhältnis zum Grundwasserspiegel in der Region Chott el Djerid in Tunesien. Unterhalb der „trockenen" Dünen beträgt der Abstand > ca. 8 m. Ein Hinweis auf ehemalige höhere Wasserstände im Becken ist in fossilen Strandwällen (beach ridges) erhalten.

Fig. 10: Morphological cross-section showing the distribution of recent facies in relation to the groundwater table in the Chott el Djerid region in Tunisia. Below the 'dry' dunes, the distance is > approximately 8 metres. An indication of former higher water levels in the basin is preserved in fossilied beach ridges.

Fläche von etwa 850 x 400 km, was den Oberrotliegend-Teilbecken von Nord- und Ostdeutschland zusammen entspricht. Auch der Tschadsee ist ein Beispiel für einen See, der durch einen kontinuierlichen Zufluss von Süßwasser beeinflusst wird. Dort, wo im Süden der Fluss Chari mit einem Delta in den Tschadsee mündet, leben die Menschen vom Fischfang, während am nördlichen Ende des Sees gleichzeitig Salz abgelagert wird. Ein ehemaliges wassergefülltes Unterbecken des Tschadsees ist heute trotz seiner geringeren topografischen Höhe (90 m tiefer als der Tschadsee) ausgetrocknet. Die vom Salzhandel berühmte Oase Bilma liegt mitten der großen Sandwüste nördlich vom Salzsee (Abb. 11).

3.2.3 Beispiel Salton Sea Basin, Kalifornien

Die Region Salton Sea war bis vor etwa 4,4 Millionen Jahren ein Teil des Golfs von Kalifornien. Eine Anhäufung von Sedimentfracht des aus östlicher Richtung quer zum Tal einmündenden Colorado River trennte schließlich den Golf und die Region Salton Sea vom Pazifischen Ozean. Im Laufe der Zeit wurde das Becken, in dem sich der heutige Salton Sea befindet, im Laufe der Jahrtausende von mindestens 5 Seen eingenommen. Die Karte der Salton Sea Region (Abb. 12) zeigt auf der weniger steilen Seite die typischen Paläo-Strandsande und Hinterlanddünen, deren Sand aus den Strandgürteln des einst viel größeren Sees stammt. Die Strandsand-Ablagerungen vom letzten dauerhaften Hochstand von ca. 1 770 nach Christus werden heute abgebaut.

Der heutige Salton Sea entstand zwischen 1905 und 1907, als der Colorado River durch die Umleitungskanäle des Bewässerungssystems im Imperial County brach. Es handelt sich heute um einen flachen, salzhaltigen, endorheischen See, der direkt an der San-Andreas-Verwerfung im Imperial Valley liegt. Der Querschnitt des Salton Sea-Beckens in der Abbildung 13 verdeutlicht die Asymetrie eines Halbgrabens.

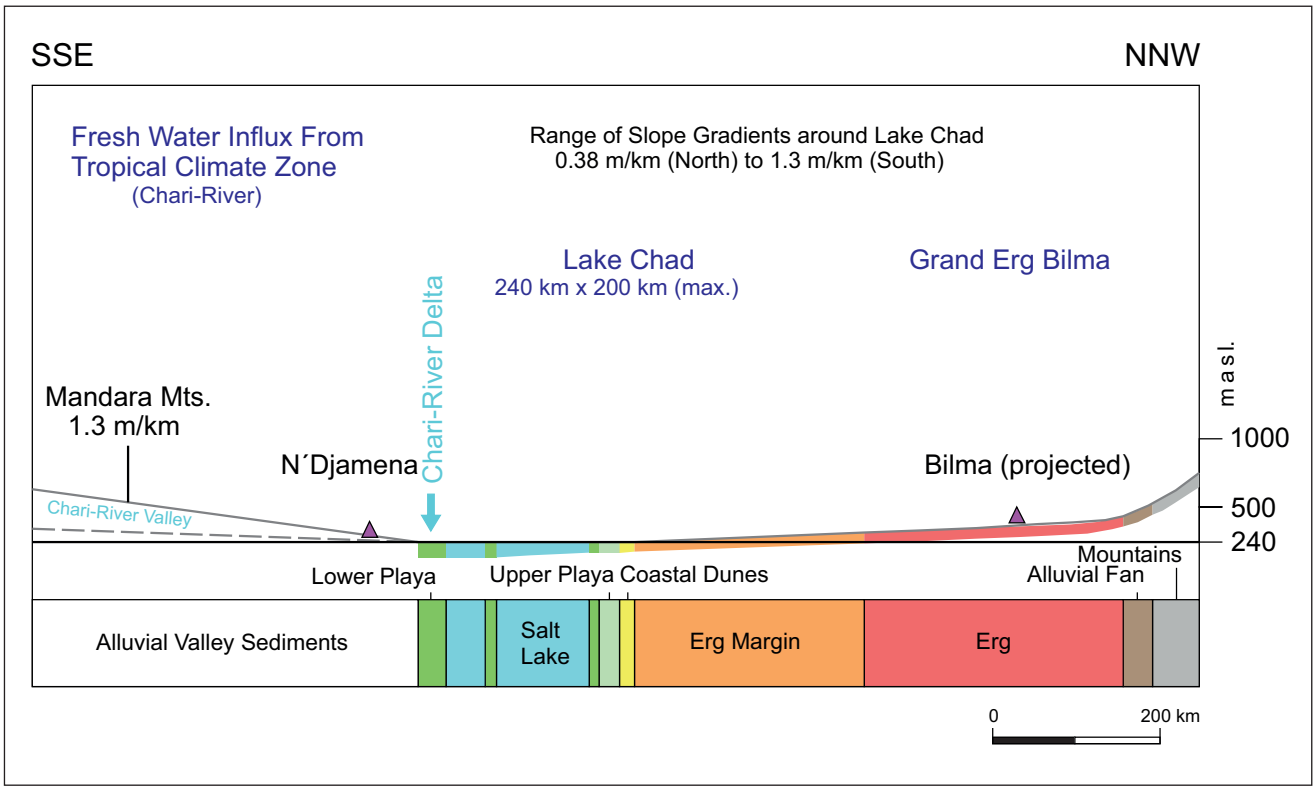


Abb. 11: Tschadsee: Morphologischer Querschnitt mit der Verteilung der rezenten Fazies. Der Schnitt quert das Tschadbecken vom subtropischen Süden bis in den sehr trockenen Sahara-Norden.

Fig. 11: Lake Chad: Morphological cross-section showing the distribution of recent facies. The section crosses the Chad Basin from the subtropical south to the very dry Sahara in the north.

3.2.4 Beispiel Lake Eyre, Australien

Aus geologischer Sicht liegt Lake Eyre im Lake Eyre Basin, einem ausgedehnten flachen epikontinentalen Becken mit einer Fläche von über 1,2 Millionen Quadratkilometern. Das Becken selbst ist ein riesiges Sedimentbecken, das sich über Teile von Queensland in Südaustralien und das Northern Territory erstreckt. Wahrscheinlich existiert das Lake Eyre-Becken seit dem Mesozoikum (Quelle: https://www.flickr.com/photos/patrick_k59/48372059862/; Abb. 14).

Lake Eyre läßt sich von seiner Fläche noch am ehesten mit dem Salzsee des Oberrotliegend vergleichen, ist aber von seiner Topographie viel flacher, obwohl die gesamte Sedimentfüllung mehr als 400 m beträgt. Als Beispiel wurde er hier aufgenommen, weil er die Ausformung von Strandbildungen mit Kliffbildungen, Nehrungshaken und Stranddünen besonders eindrucksvoll zeigt (King 1956; Magee et al. 1995; Abb. 15). Diese Sedimente werden trotz der seltenen Wasserführung des Salzsees (im Mittel alle 8–10 Jahre) und der ausgeprägten Deflation im geologischen Profil erhalten. Auch Playa-Gebiete, die ephemer überflutet werden, wurden dokumentiert. Magee et al. (1995) haben die Geschichte des Lake Eyre mit Hilfe von Thermoluminiszenz über die letzten 130 000 Jahre verfolgt. Demnach war seine perenniale Phase vor 3 000–4 000 Jahren beendet, die von ephemeralen Bedingungen abgelöst wurde. Ähnlich wie im Oberrotliegend sind auch im Lake Eyre Salzlagen erhalten.

4 Sedimentologischer Ansatz der Paläomorphologie des Oberrotliegend

4.1 Kartierungsmethode

Fazieskarten stellen die Faziesverteilung zu einem bestimmten Zeitpunkt dar und können nur dann korrekt erstellt werden, wenn ein zeitlich-stratigraphisches Rahmenwerk zur Verfügung steht.

Um die Sedimentfazies aller relevanten Reservoir-Sandsteine des Oberrotliegend in einer neuen, zuverlässigeren Weise zu kartieren, wurden alle vorhandenen Faziesbeschreibungen aus Bohrkernen und Logs mit Paläogradientendaten kombiniert, um Paläomorphologiekarten zu erstellen. Ausgewählte Konturen der Morphologie einer Zeitscheibe (am maximalen Regressionsniveau oder an der Sequenzgrenze nach Vail et al. (1977) stellen die Faziesübergänge bzw. deren meist unscharfe Grenzen dar.

Als Bezugsebene für die Karten wurden in Seegebieten die Winterhochstände verwendet. An Land wurde der je-

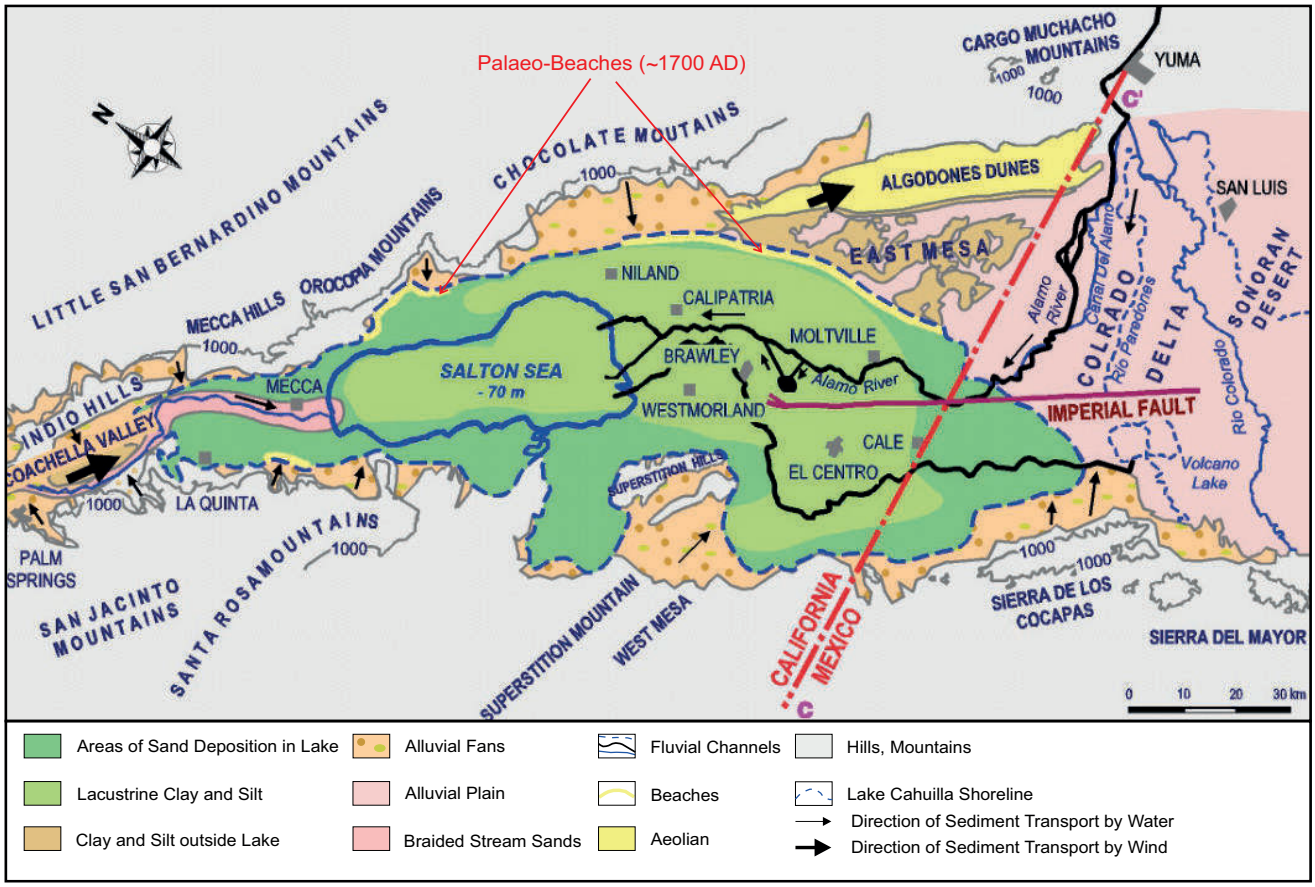


Abb. 12: Salton Sea-Region mit Paläo-Strandsanden und Hinterlanddünen, deren Sand aus den Strandgürteln des einst viel größeren Sees stammt. Die Strandsandablagerungen von ca. 1 770 n. Chr. werden heute abgebaut.
Fig. 12: Salton Sea region with palaeo beach sands and hinterland dunes whose sand originates from the beach belts of the once much larger lake. The beach sand deposits from around 1.770 AD are mined today.

weilige Grundwasserspiegel (Basisniveau) berücksichtigt. Dabei ist zu beachten, dass die Höhen über dem Grundwasserspiegel nicht unbedingt mit den topographischen Höhen (die höher sein können) identisch sind, da der Grundwasserspiegel bis zu einem gewissen Grad der Morphologie folgt (Beispiel Chott el Djerid Abb. 9, 10). Folglich wird die Paläomorphologie des Oberrotliegend wahrscheinlich unterschätzt, und die Paläosteigungen könnten in der Nähe des Hinterlandes steiler sein. Im Seegebiet besteht dieses Problem nicht, da seine Morphologie in Bezug auf den Seespiegel der Winterhochstände beschrieben wird.

Um eine Verbindung zwischen den salzhaltigen Seesedimenten des Beckenzentrums und den angrenzenden Playa-Sedimenten mit den topographischen Daten herzustellen, wurde die Fazies in verschiedene Typen unterteilt, die von Hardie, Smoot & Eugster (1978) definiert wurden und seitdem Standard in der Faziesbeschreibung von salinaren Seen sind (Tab. 1).

Beginnend in salzseezentralen Bereichen mit schon früh im Oberrotliegend abgelagerten Salzlagen eines perennialen Sees folgen landwärts Playa-Mudflats (untere Playa), Playa-Sandflats (obere Playa) und schließlich küstenparallele Strandsandbereiche, die je nach Steigung oder Gefällegradient auch ausfallen und direkt in landwärtige Sebkha übergehen können.

Die marginale Playa-Sandflat- oder obere Playa-Fazies, die in der während des Winterhochwassers nur unregelmäßig überfluteten Region abgelagert wird, wird zwischen 0 und -2 m unter der Basis kartiert. Die untere Playa-Fazies erstreckt sich bis zu einer Tiefe von ca. -6 m unter dem Seespiegelhochstand. Unterhalb von -6 m könnte Salz in der geologischen Schichtenfolge erhalten geblieben sein, da die Schichtung der Salzsole in dieser Wassertiefe nur in geringem Maße durch Wellenschlag gestört wird und die tieferen Bereiche des Salzsees selten vollständig austrocknen (Gast 1991).

Landwärts des Salzsees wurden vier Faziestypen mit morphologischen Höhenlagen verbunden und entsprechend kartiert (Tab. 1).

Zwischen 0 und 3 m über der Basis wurden die Sedimente des Paläoküstengürtels kartiert. Der Küstengürtel selbst besteht aus einer gemischten Abfolge von meist äolischen Ufersanden (Küstendünen), Sebkha-Sanden und oberen Playa-Tonsteinen, aber auch aus Strandsanden, die beson-

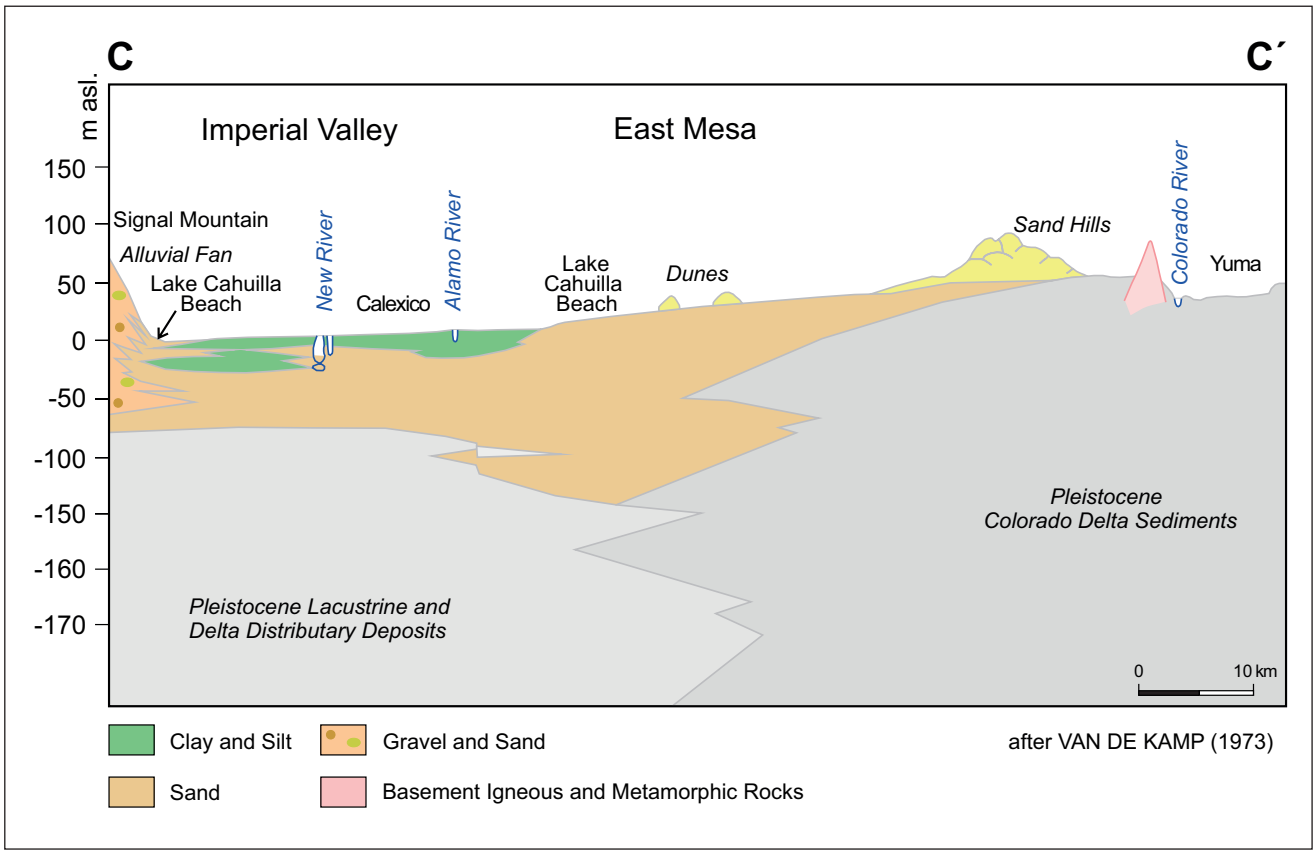


Abb. 13: Schnitt durch das asymmetrische Becken (Halbgraben) der Salton Sea-Region im Imperial Valley von Kalifornien. Auch auf der steilen Seite kann man Strandwälle kartieren, die aus der Hochstandsphase des 18. Jahrhunderts stammen.

Fig. 13: Section through the asymmetrical basin (half graben) of the Salton Sea region in the Imperial Valley of California. Beach ridges dating from the 18th century highstand phase can also be mapped on the steep side.

Abb. 14: Strand- und Strandwallbildung während einer Hochwasserphase im Lake Eyre, die nur alle Jahrzehnte vorkommt, aber in Bohrkernen vergangener Epochen ebenfalls nachgewiesen sind (Kati Thanda, Foto: Patrick Kavanagh, 26.06.2019; https://www.flickr.com/photos/patrick_k59/48372059862/; Lizenz: cc-by-2.0)

Fig. 14: Beach and beach ridge formation during a flood phase in Lake Eyre, which only occurs every decade, but is also documented in drill cores from past epochs (Kati Thanda, photo: Patrick Kavanagh, 26.06.2019; https://www.flickr.com/photos/patrick_k59/48372059862/; license: cc-by-2.0)

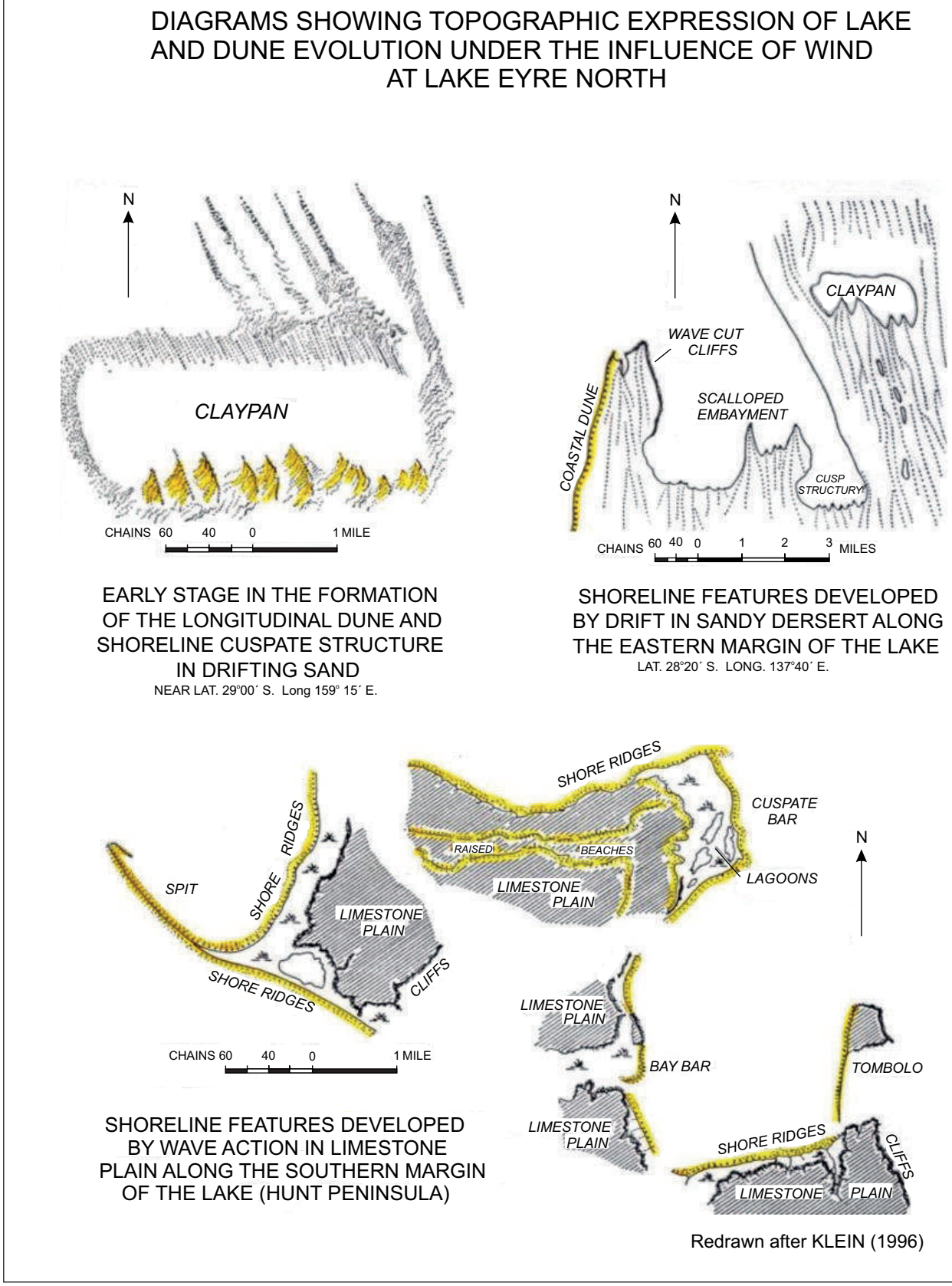


Abb. 15: Küstenformen von der Nordseite und der Südseite des Lake Eyre. Hochstandsphasen haben jeweils typische Sedimentformen hinterlassen (King 1956).

Fig. 15: Shoreforms from the north and south sides of Lake Eyre. Highstand phases have left behind typical sedimentary forms in each case (King 1956).

Höhenlage in m	Fazies
> -6	Salzsee (Salt Lake), meist feingeschichtete Seetone und Salzlagen, seltener Flaserschichtung
-2 – -6	Tiefere Playa (Lower Playa), tonige, meist gestörte Lagen von Ton- bis Siltsteinen mit Flaserschichtung
0 – +3	Küstensandsteine (Coastal Belt), Strandsandablagerungen, Küstendünen, feuchte Sandebenen
+3 – +4	Sebkha, sandige bis tonige Sedimente mit Flaserschichtung und wenigen Trockenrissen, hoher Anhydrit- und Calcit-Gehalt
+4 – +8	Erg Margin (randliche Wüste), kleine Dünen aus schlecht sortierten Sanden, äolisch dominierte Sanddünen, Flaserschichtung, Trockenrisse, hoher Anhydrit- und Calcit-Gehalt im Porenraum
+8 – +20	Erg (zentrale Wüste), größere Dünen, Sand- bis Steinebenen, Interdünen mit teilweise tonigeren Sedimenten und Trockenrissen
+20 – +40	Alluviale Schwemmfächer (Alluvial Fans)
> +40	Hügel, Berge (Mountains)

Tab. 1: Paläomorphologie eines Salzseebeckens mit Angabe der Faziesverteilung in Relation zur Höhenlage bzw. zur Tiefe des Salzsees (eigene Arbeit)

Tab. 1: Palaeomorphology of a salt lake basin showing the facies distribution in relation to the altitude or depth of the salt lake (own results)

ders gute Lagerstätteneigenschaften besitzen. Wenn sie örtlich nicht näher untergliedert werden können, könnte man diesen Sedimentationsraum auch als feuchte Sandebene (wet sandflat) bezeichnen, welche im Gegensatz zu den trockenen Sandflats der Wüstengebiete im Landesinneren steht. Die Tabelle 1 fasst diese Ergebnisse zusammen.

Die Qualität der Dünen am Seeufer, die besser sortiert sind als die Dünen im Binnenland (Ahlbrandt 1979), macht sie zu Küstendünen, die vor ihrer Konservierung einer aquatischen Sortierung unterzogen wurden. Entsprechend zeichnen sich die in dieser Zone abgelagerten Sandsteine durch ihre gute Sortierung aus, die vermutlich größtenteils das Ergebnis aquatischer Aufarbeitung ist. Durch ihre spezielle, vom Salzsee beeinflusste Chlorit-Diagenese hat der Sandstein Porositäten von bis zu 20 % bewahrt (Gast, Gessner & Gundlach 1999). Diese Sandsteine sind nicht nur für die Exploration auf Erdgas von sehr großer Bedeutung gewesen, sondern könnten auch in Zukunft für Geothermie und Lithium-Gewinnung eine große Rolle spielen. Die Lithium-Gehalte dürften wegen des direkten Kontakts mit den Salzseeporenwässern in dieser Zone höher sein als in den landwärtig gelegenen Dünensanden.

Die Erg-Margin-Fazies mit normalerweise schlecht sortierten Sandsteinen ist ab ca. 3 bis 8 m über dem Basisniveau (Grundwasserspiegel) anzutreffen, eine Zone, die deshalb noch stark von Kapillarverdunstung und damit früher Gipszementierung geprägt ist und nur selten gute Reservoir-Eigenschaften aufweist.

Trockene äolische Fazies eines Erg-Milieus mit teilweise hervorragenden Reservoir-Eigenschaften werden ab ca. > 8 m über dem Grundwasser angetroffen (z. B. Great Erg Südtunesien; mdl. Mitt. Glennie). Diese morphologische Einteilung der Sandsteinfazies erwies sich als hilfreich für das Verständnis der Verbreitung der Oberrotliegend-Speichergesteine.

Eine besonders gute Übersicht über rezente Dünensedimente und zur geologischen Vergangenheit sowie zum Einfluss der Ablagerungsorte und der Morpholgie auf die Reservoirqualität haben Glennie & Hurst (2007), Rodriguez-Lopez et al. (2014) und Fryberger, Hern, & Jones (2017) gegeben. Als eine für das Rotliegend wichtige Beobachtung erwies sich die Einlenkung der Winde in Grabenrichtung, was die Ausrichtung und Anhäufung von Dünensedimenten stark beeinflusst hat. Eine frühzeitige Rekonstruktion der paläomorphologischen Situation hätte in diesem Fall sicherlich einige Fehlbohrungen verhindert.

Die letzte Faziesgruppe der Kartierungen umfasst Schwemmfächer und Hochländer oberhalb von ca. 20 m NHN. Um einen Eindruck von der Morphologie der Paläohöhen zu erhalten, die aus Hügeln des Karbons und vulkanischen Plateaus des Unterrotliegend bestehen, wurde die Differenz zwischen der Ablagerungsgrenze der kartierten Sequenz und dem Niveau der Oberrotliegend- oder Zechstein-Transgressionen gemessen und mit dem Ausmaß der Erosion verglichen, das sich zum Beispiel aus den tertiären bis quartären Hoggar-Bergen in der zentralen Sahara ergibt. Im Hamwiede-Gebiet nörd-

lich von Hannover zeigten die Bohrergebnisse zum Beispiel, dass die Zechsteintransgression den „Hamwiede-Vulkanberg“ erst im Zechstein (Staßfurt-Karbonat, Ca2) überflutet hat.

4.1.1 Berechnung des Sand-/Ton-Verhältnisses aus Gammaray-Logs

Entlang von Profilen, die senkrecht zur Beckenachse verlaufen, wurde das Sand-/Ton-Verhältnis für den Wustrow-Zyklus auf der Grundlage von 1/200 skalierten Gammastrahlenprotokollen mit einem 40 %igen GR-Cut Off bestimmt.

Die Ergebnisse wurden mit der Gesamtmächtigkeit des Zyklus und dem rekonstruierten Paläogefälle verglichen (Abb. 16). Ausgeprägte Veränderungen des Sand-/Ton-Verhältnisses stimmen mit dem Übergang von Faziesgürteln überein, die anhand von Kernbeschreibungen ermittelt wurden, sowie mit Trends von Amplitudenveränderungen, die auf der seismischen 3D-Interpretation basieren. Diese Amplitudenänderungen trennen Bereiche mit unterschiedlichen Porositätsbereichen, von denen man annimmt, dass sie für bestimmte Faziestypen charakteristisch sind.

Im Allgemeinen sind die höchsten Sandanteile in äolischen Gebieten vom Typ Erg und Erg-Margin (randliche Wüste)

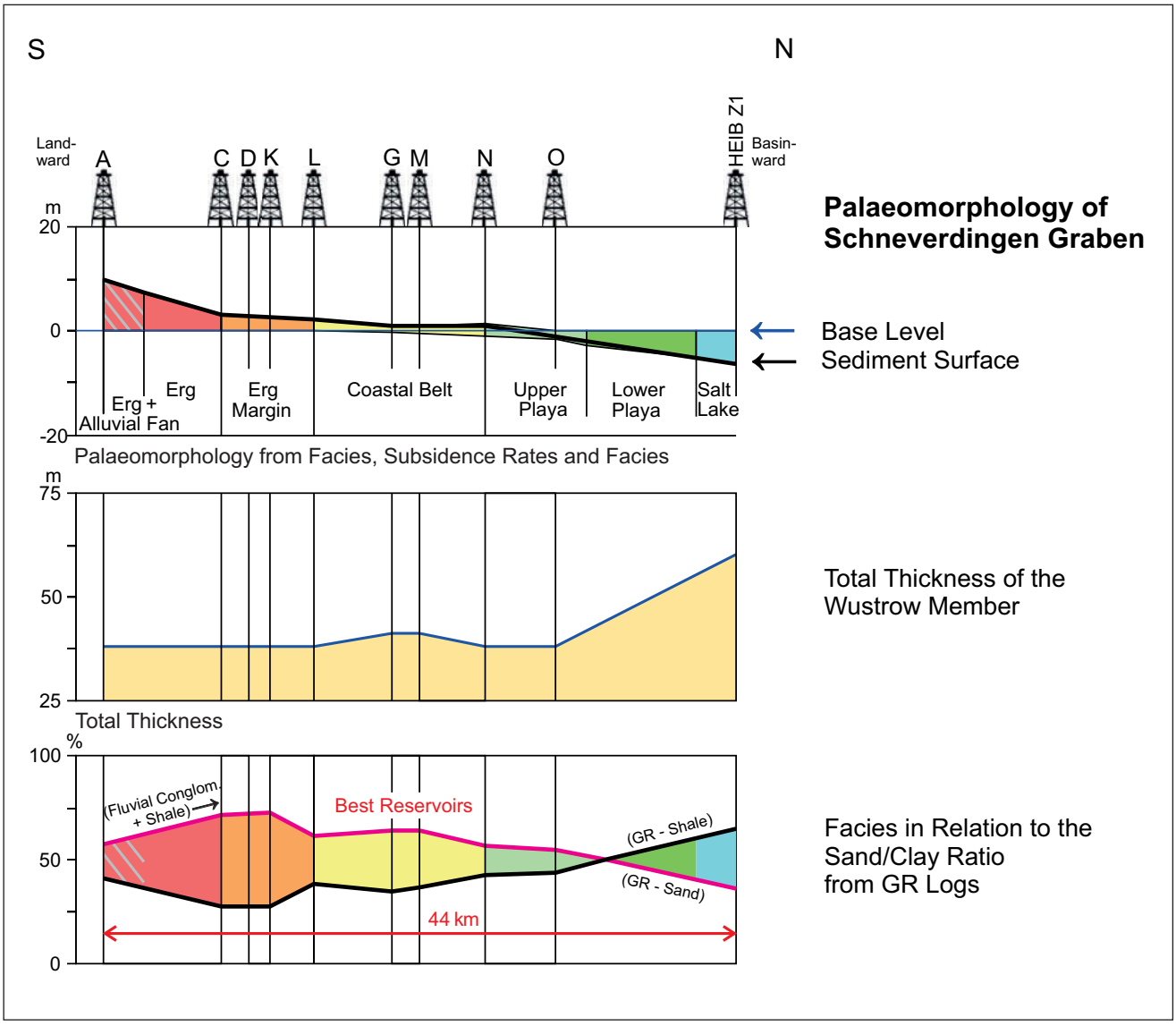


Abb. 16: Der obere Teil zeigt einen weiteren paläomorphologischen Schnitt zur Zeit der Wustrow Sequenzgrenze (Sequence Boundary). Darunter ist die Gesamtmächtigkeit des Wustrow-Zyklus dargestellt und unten das Sand-/Ton-Verhältnis aus Gammaray-Logs, was den Zusammenhang zwischen der Faziesdefinition und dem Sand-/Ton-Verhältnis verdeutlicht.

Fig. 16: The upper part shows another palaeomorphological section at the time of the Wustrow Sequence Boundary. Below is the total thickness of the Wustrow cycle and below the sand/clay ratio from gammaray logs, which illustrates the relationship between the facies definition and the sand/clay ratio.

zu beobachten. In diesem Fall (Abb. 16) führt jedoch der zunehmende Anteil fluviatiler Konglomerate (höhere Gammastrahlenwerte) im Süden zu einem sinkenden Sand-/Ton-Verhältnis (Bohrung A).

Der Punkt auf dem Diagramm, an dem die GR-Sand-Linie die Ton-Linie kreuzt und der Anteil des Tons mehr als 50 % beträgt (s. Abb. 16), bestimmt den Übergang vom Playa-Sandflat zum Playa-Mudflat. Die Zunahme der Gesamtdicke zwischen Playa-Sandflat und Playa-See ist das Ergebnis einer schnelleren Absenkung in den beckenzentralen Bereichen im Vergleich zum Hinterland. Da der vorliegende Abschnitt parallel zur Schneverdinger Grabenachse verläuft, ist die Mächtigkeit des Wustrow-Zyklus relativ stabil.

Die besten Reservoirqualitäten wurden in einem küstenparallelen Sandgürtel gefunden, der aus äolisch und aquatisch sedimentierten Sandsteinen mit eingelagerten dünnen Playa-Sebkha-Lagen besteht und somit eine Umgebung mit einem etwas geringeren Sandstein-Anteil darstellt. Der Übergang von den Sandsteinen des Küsten-Sandgürtels in den Bereich des Playa-Sandflats ist subtil und lässt sich nur schwer ausschließlich anhand des Sand-/Ton-Verhältnisses bestimmen. Ausnahmen bestehen dort, wo entlang von Blattverschiebungen eine Art Geländestufe entstanden ist und den eigentlichen Strandsaum schmaler werden ließ (Abb. 7).

4.1.2 Diskussion der Interpretation des „Basisniveaus“ (Grundwasserspiegels) und Rekonstruktion der Gradienten aus der Fazies

Die Paläomorphologie des Hinterlandes des Oberrotliegend-Beckens wird von vulkanischen und karbonischen Hochlagen geprägt. Zur Zeit der Zechstein-Transgression wurde die vorhandene Topographie in kurzer Zeit überflutet. Die geschätzten Wassertiefen im Zentrum des Beckens reichen bis zu mehreren hundert Metern (Glennie & Buller 1993; Gast 1995). Diese schnelle Überflutung impliziert, dass der Beckenboden des Oberrotliegend-Beckens wahrscheinlich unter dem Meeresspiegel lag, vergleichbar mit der Situation am Toten Meer. Die Karbonat-Faziesverteilung der ersten beiden Evaporitzyklen im Zechstein (Göthel 2020) des Zechstein-Zyklusses lässt das vorbestehende Oberflächen-Relief des Rotliegend als sehr ausgeprägt erkennen. Durch Oolithe belegte Untiefen auf ehemaligen vulkanischen Unterrotliegend- und Karbon-Hochflächen (Gaslagerstätten des Oldenburger Raumes) und Hangfazies entlang der alten Böschungen und schließlich Beckentone in unmittelbarer Nähe, zeigen zumindest in einigen Regionen eine hohe Hangneigung an.

Das Gesamtrelief des südlichen Perm-Beckens zur Zeit der Zechstein-Transgression wird auf 300 m geschätzt (Bitzer 1996). Die maximale Wassertiefe im Oberrotliegend wurde vom gleichen Autor auf 150 m berechnet, so dass die Oberfläche eines Oberrotliegend-Sees 150 m unter dem Meeresspiegel liegen müsste.

Ein weiterer Ansatz zur Rekonstruktion von Hangneigungen ist das Gleichgewichtsprofil eines Beckenrandes, der sich durch Erosion und Sedimentation allmählich ausbildet, unabhängig vom Ausmaß der Absenkung des Beckens oder dem Anstieg der Hebungsgebiete (z. B. Siever 1988).

Paläogradienten können auch rekonstruiert werden, indem die Lage des Basisniveaus im Verhältnis zum Sedimenttyp an der Oberfläche geschätzt wird. Der Wert 0 m stimmt beispielsweise mit den Sedimenten der Paläoküste überein, und die Trockendünen einer Erg-Umgebung entwickeln sich am besten bei ca. > 8 m über dem Grundwasser (Großer Erg Südtunesien; mdl. Mitt. Glennie). Die sich daraus ergebende Neigung gibt nur den Mindestneigungswinkel an, da der Grundwasserspiegel mit dem Bodenniveau ansteigt. Seine Zuverlässigkeit bleibt daher auf küstennahe Gebiete beschränkt. Die Bedeutung, die ein fluktuierender Grundwasserspiegel auf die Sediment-Ablagerungstypen auf der Oberfläche hat, wird auch von Legler et al. (2011) betont. In dieser Arbeit wird ein Schnitt aus dem äolisch dominierten Hinterland des Altmark-Gasfeldes in das Salinarbecken des Oberrotliegend beschrieben und detailliert analysiert.

4.2 Beispiel Wustrow-Schichtglied (Member)

Als Beispiel für die Paläotopographie und die damit verbundene Faziesverteilung ist das Wustrow-Schichtglied (Member) an der Sequenzgrenze bzw. dem maximalen Regressionsniveau im Bereich Ostdeutschlands dargestellt (Abb. 8). Die Karte zeigt die verschiedenen Typen von Ablagerungsmilieus entlang des Randes des großen Oberrotliegend-Salzsees und seines Hinterlandes.

Südlich und östlich des Sees befanden sich Hochebenen bzw. ein Bergland, auf denen kein Wustrow-Sandstein abgelagert wurde. Von hier aus wurden Schwemmfächer in die Täler und in den Oberrotliegend-Salzsee geschüttet. Die Berghänge waren von Dünenfeldern oder äolischen Sandflächen umgeben, die hangabwärts in die Erg-Randfazies und schließlich in Sebkha und Küstensandflächen übergingen (Abb. 17).

Für eine Korngrößenstudie, die zum Ziel hatte, die Sedimenttypen des Wustrow-Sandsteins mit Hilfe einer Clusteranalyse statistisch valide zu analysieren, wurden mehr als 2 000 Proben gemessen und die Ergebnisse an rezenten Proben geeicht. Dabei ergab die Sortierung das signifikanteste und am leichtesten zu verstehende Resultat (Abb. 17, 18; Gast, Gessner & Gundlach 1999).

5 Seismischer Interpretationsansatz

Ohne die Einbeziehung des aus der 2D- und insbesondere der 3D-Seismik abgeleiteten Detailstrukturen wären die paläomorphologischen Karten viel gröber und daher weniger hilfreich bei der Lokalisierung der Reservoirfazies. Die paläomorphologische Karte von Ostdeutschland (Abb. 8)

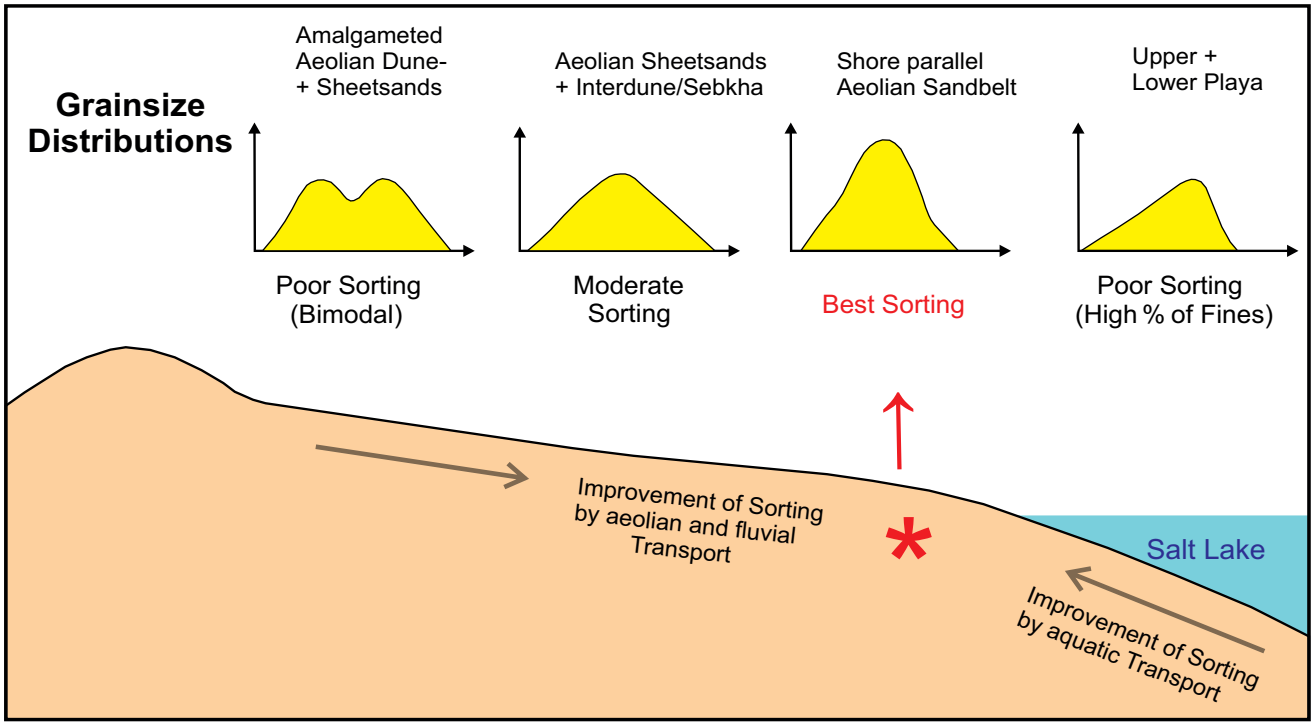


Abb. 17: Einfluss der paläomorphologischen Situation auf die Korngrößenverteilung und damit die Reservoirqualität eines Sandsteins. Die Daten stammen aus mehr als 2 000 Korngrößenanalysen von Bohrkernen des Wustrow-Sandsteins und betreffen die Zeitlinie der Sequenzgrenze (SB = Sequence Boundary; Quelle: Gast et al. 1999).

Fig. 17: Influence of the palaeomorphological situation on the grain size distribution and thus the reservoir quality of a sandstone. The data originate from more than 2000 grain size analyses of drill cores of the Wustrow Sandstone and relate to the time line of the sequence boundary (SB = Sequence Boundary; source: Gast et al. 1999).

ist ein Beispiel für eine Übersichtskarte, in der nur die größten synsedimentär aktiven Strukturelemente des Beckens berücksichtigt sind.

In den wirtschaftlich attraktiveren Gebieten wurde die Kartierung unter Berücksichtigung aller verfügbaren Informationen aus seismischen Daten wesentlich detaillierter durchgeführt. Dazu gehörten nicht nur die synsedimentären aktiven Störungssysteme, sondern auch die Verteilung seismischer Attribute (z. B. Amplitudenanomalien). Die seismische Inversion erwies sich als hilfreich, um küstennahe Sandstein-Vorkommen oder äolische Sedimenttrends zu umreißen.

Paläomorphologische Karten können bei der Exploration auch dazu verwendet werden, um einige Fallstricke bei der seismischen Interpretation zu vermeiden. In einigen Gebieten wurden seismische Amplitudenanomalien durch Impedanzkontraste zwischen schiefrigen Sedimenten und Vulkaniten verursacht, oder in anderen Beispielen wurden Amplituden durch Tonsteine über Salzschichten im Becken verursacht, oder lokale Anomalien wurden fälschlicherweise als gute Sandstein-Reservoirs interpretiert und führten zu Fehlbohrungen.

6 Schlussfolgerung

Der traditionelle Ansatz der Fazieskartierung anhand von Bohrkernen und Bohrlochmessungen und Bohrklein (Cuttings) sollte durch die rekonstruierte Paläomorphologie ergänzt werden. Sie kann jedoch nur dann erfolgreich sein, wenn ein chronostratigraphischer Rahmen die Grundlage für den Ansatz bildet. In dem Sedimentationsraum des Oberrotliegend-Beckens und seines Wüsten-Hinterlandes erwies sich die Milankovich-Zyklizität vor allem der Salzseeablagerungen und ihres Hinterlandes im Gebiet des südlichen Perm-Beckens als der beste Weg, eine hochauflösende Stratigraphie zu erstellen.

Die Paläomorphologie einer Zeitscheibe kann mit Hilfe mehrerer sich ergänzender Methoden rekonstruiert werden. Dazu gehört im Hinterland des Beckens die Analyse der Höhe über dem Basisniveau (Grundwasserspiegel) für verschiedene Wüsten-Sedimenttypen. Außerdem die Berechnung der Hangneigungen des Sedimentbeckens durch eine Analyse der Klimazyklizität und schließlich die Abschätzung des Erosionsbetrags auf den umliegenden Paläohochlagen.

Um die Plausibilität solcher Berechnungen zu überprüfen, erwies sich der Vergleich mit der Morphologie moderner Äquivalente in ariden Binnenbecken wie Chott el Djerid, Tschadsee und Lake Eyre als hilfreich.

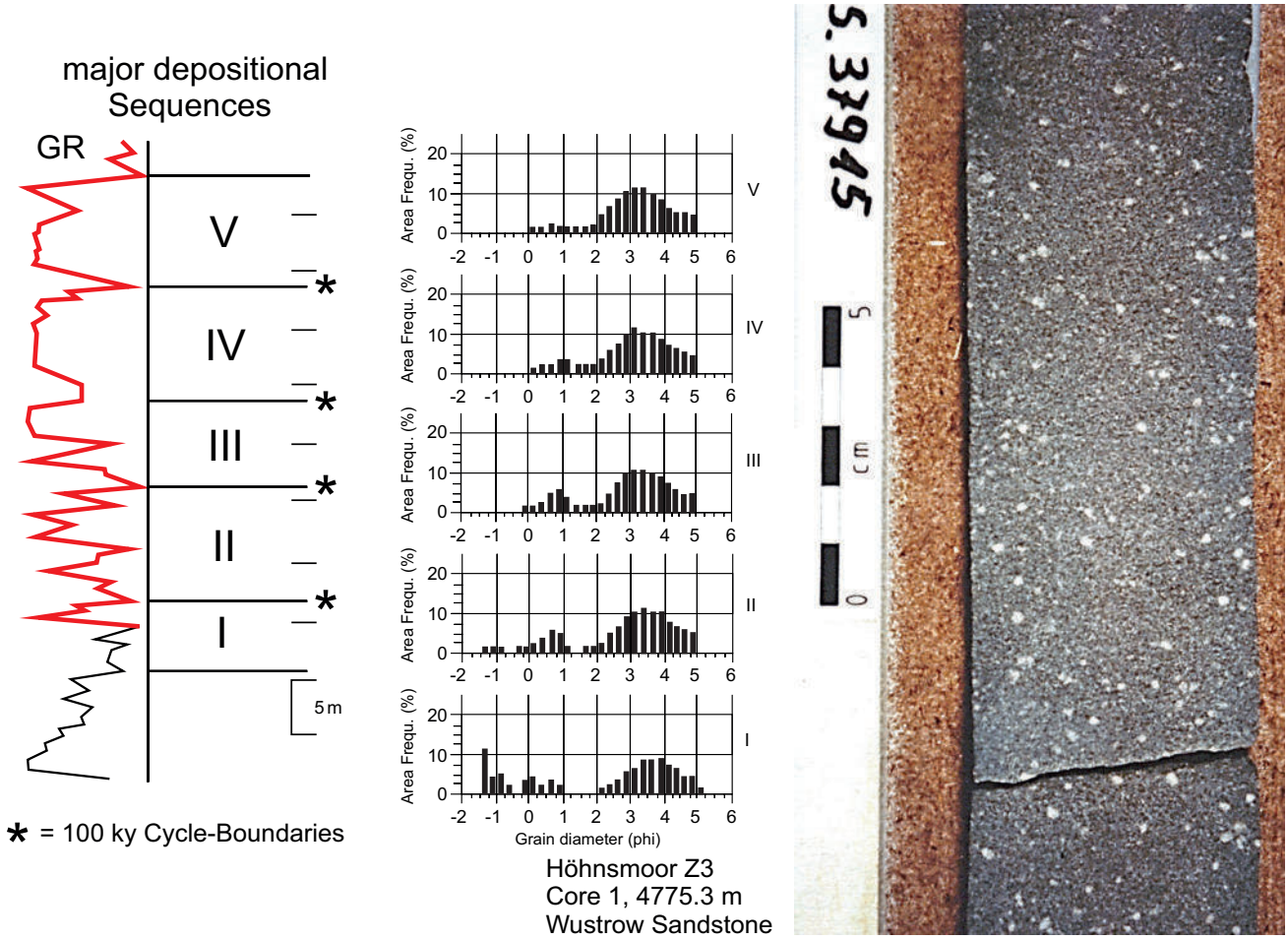


Abb. 18: Das Wustrow-Schichtglied, der in Niedersachsen produktivste Oberrotliegend-Sandstein. Abgelagert als Küstensediment mit meist äolischer Schichtung, aber auch oft entschichtet durch aquatische Prozesse. Typisch sind die gute Sortierung und die Chlorit-Diagenese der oberen Sande, die sich positiv auf die Erhaltung von Porosität und Permeabilität ausgewirkt haben. Die Korngrößen-Diagramme sind das Ergebnis von > 2 000 Korngrößen-Analysen.

Fig. 18: The Wustrow Member, the most productive Upper Rotliegend sandstone in Lower Saxony. Deposited as coastal sediment with mostly aeolian stratification, but also often de-laminated by aquatic processes. Typical are the good sorting and chlorite diagenesis of the upper sands, which have had a positive effect on the preservation of porosity and permeability. The grain size diagrams are the result of > 2.000 grain size analyses.

Schließlich kann die resultierende Paläomorphologie und Fazieskarte unter Einbeziehung seismischer Amplituden- und Inversionsdaten sowie des Einflusses aktiver synsedimentärer Verwerfungen, die aus der Seismik abgeleitet wurden, feinabgestimmt werden.

Die Anwendbarkeit der Methode der Paläomorphologie- und Fazieskartierung bei der Identifizierung potenzieller Reservoire wurde in Bohrungen erfolgreich getestet. Die Erhöhung der Genauigkeit bei der Vorhersage der Reservoir-Fazies ist bemerkenswert und sicherlich die Mühe wert.

Die paläomorphologische Analyse kann natürlich auch in anderen sedimentären Umgebungen wie zum Beispiel karbonatischen Ablagerungsräumen angewandt werden, um die Erkennung der Verteilung der Reservoir-Fazies zu verbessern.

Danksagungen

Der Autor dankt dem BEB Unternehmen Erdgas und der Wirtschaftsvereinigung Erdöl- und Erdgasgewinnung e. V. (WEG) für die Genehmigung zur Veröffentlichung dieses Artikels. Diese Studie profitierte enorm von den Diskussionen mit den Kollegen von BEB, Ken Glennie, Jean-Paul Verdier, Reinhard Gaupp, Jörg Geßner sowie von Michael Göthel und Jaqueline Strahl (Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg).

Zusammenfassung

Die Verteilung der Fazies innerhalb eines Sedimentationsraumes wird durch die Paläomorphologie und das Klima gesteuert. Ohne genaue stratigraphische Gliederung ist aller-

dings keine paläogeographische Rekonstruktion einer Landschaft möglich. In dieser Studie wurde versucht, durch die Rekonstruktion der Paläomorphologie eine bessere Voraussage der Sedimentverteilung im Rotliegend-Ablagerungsraum Norddeutschlands zu erzielen. Dafür wurden mehrere Ansätze zur Rekonstruktion der Paläomorphologie gewählt:

Die orbital gesteuerte Klimazyklizität der Rotliegend-Sedimente diente der Erstellung eines chronostratigraphischen Gerüstes. Sie zeigt deutliche Rhythmen vom Milankovich-Typ mit Perioden von ca. 20 000, 100 000 und 400 000 Jahren. Darauf aufbauende Berechnungen der Subsidenzsraten ergaben ca. 4 cm/1 000 Jahre am Beckenrand und ca. 24 cm/1 000 Jahre im Zentrum des Beckens. Auf der Grundlage dieser Ergebnisse wurden Hangneigungen berechnet und für die Rekonstruktion der Paläomorphologie verwendet. Eine Plausibilitätsprüfung umfasste den Vergleich mit rezenten großflächigen epikontinentalen Becken wie dem Chott el Djerid, dem Tschadsee in Nordafrika, dem Salton Sea in Kalifornien und dem Lake Eyre in Australien.

Eine weitere Methode zur Rekonstruktion von Paläogradienten wurde entwickelt, indem die Lage des Basisniveaus in Bezug auf den Sedimenttyp an der Paläo-Oberfläche geschätzt wurde. Als Bezugsebene wurden in den subaquatischen Gebieten die Winterhochstände der Seen und an Land der jeweilige Grundwasserspiegel verwendet. Zusätzlich wurden die Sand-/Tonverhältnisse eines Sedimentationszyklus aus Bohrungen entlang von Profilen senkrecht zur Beckenachse bestimmt, um die Faziesdefinitionen anhand eines unabhängigen Parameters zu überprüfen.

Schließlich wurde die resultierende Paläomorphologie und Fazieskarte unter Einbeziehung seismischer Amplituden und Inversionsdaten sowie des Einflusses synsedimentärer aktiver Verwerfungen, die aus 3D-seismischen Daten abgeleitet wurden, in manchen Gebieten noch verfeinert.

Summary

The distribution of facies within a sedimentary area is controlled by palaeomorphology and climate. Without a precise stratigraphic structure, however, no palaeogeographic reconstruction of a landscape is possible. In this study, an attempt was made to achieve a better prediction of the sediment distribution in the Rotliegend depositional area of northern Germany by reconstructing the palaeomorphology. Several approaches were chosen to reconstruct the palaeomorphology:

The orbitally controlled climatic cyclicity of the Rotliegend sediments was used to create a chronostratigraphic framework. It shows clear Milankovich-type rhythms with periods of approx. 20 000, 100 000 and 400 000 years. Calculations of the subsidence rates based on this resulted in approx. 4 cm/1000 years at the edge of the basin and approx. 24 cm/1000 years in the centre of the basin. Based on these results, slope inclinations were calculated and used to reconstruct the palaeomorphology. A plausibility check included a comparison with recent large-scale epicontinental basins such as the Chott el Djerid, Lake Chad in North Africa, the Salton Sea in California and Lake Eyre in Australia. A further method for the reconstruction of palaeogradients was developed by estimating the position of the base level in relation to the sediment type on the palaeosurface. The winter highs of the lakes in the subaquatic areas and the respective groundwater level on land were used as reference levels. In addition, the sand/clay ratios of a sedimentation cycle were determined from boreholes along profiles perpendicular to the basin axis in order to verify the facies definitions using an independent parameter.

Finally, the resulting palaeomorphology and facies map was further refined in some areas by incorporating seismic amplitude and inversion data as well as the influence of synsedimentary active faults derived from 3D seismic data.

Literatur

Ahlbrandt, T. S. (1979): Textural parameters of eolian deposits. – In E.D. McKee (Ed.): A study of global sand seas. – Geological Professional Paper **1052**, S. 21–51

Bachmann, G. H. & N. Hoffmann (1995): Paläotektonik. Bildung und Entwicklung des Norddeutschen Rotliegend-Beckens.– In: Plein, E. (Hrsg.): Stratigraphie von Deutschland I - Norddeutsches Rotliegendbecken - Rotliegend-Monographie Teil II. – Courier Forsch.-Inst. Senckenberg **183**, S. 156–169

Berger, A., Fichefet, T., Gallée, H., Tricot, Ch. & J. P. Van Ypersele (1992): Entering the glaciation with a 2-D coupled climate model. – Quaternary Science Rev. **11**, 4, S. 481–493

Bitzer, F. (1996): Quantitative Methoden zur stratigraphischen Gliederung und Subsidenzanalyse im Oberrotliegend des Norddeutschen Beckens. – Diss. Johannes Gutenberg-Universität Mainz, 42 S. (unveröff.)

Borer, J. M. & P. M. Harris (1991): Lithofacies and Cyclicity of the Yates Formation, Permian Basin: Implications for Reservoir Heterogenity. – AAPG-Bulletin **75**, S. 726–779

Chen, K. & J. M. Bowler (1986): Late pleistocene evolution of salt lakes in the Qaidam basin, Qinghai province, China. – Palaeogeogr. Palaeocl. **54**, S. 87–104

Currey, D. R. (1990): Quaternary palaeolakes in the evolution of semidesert basins, with special emphasis on Lake Bonneville and the Great Basin, U.S.A.– Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. **76**, S. 189–214, doi:10.1016/0031-0182(90)90113-L.

Fryberger, S. G., Hern, C. Y. & N. Jones (2017): Modern and Ancient Analogues for Complex Eolian Reservoirs. – Search and discovery Article #51401

Gaitzsch, B. (1995): Extramontane Senken im variscischen Finalstadium in Norddeutschland: Lithofazies, Tektonik und Beckenentwicklung. – Ph.D. Thesis TU Bergakademie Freiberg, 101 S. (unveröff.)

Gast, R. E. (1991): The Perennial Rotliegend Saline Lake in NW-Germany. – Geol. Jb. **A 119**, S. 25–59

Gast, R. E. (1992): Rotliegend Sequence Stratigraphy in the Southern Permian Basin. – Profil Bd. 1, 82nd Annual Meeting of GV Febr. 1992, Stuttgart

Gast, R. E. (1995): Sequenzstratigraphie. – In: Plein, E. (Hrsg.): Stratigraphie von Deutschland I - Norddeutsches Rotliegendbecken - Rotliegend-Monographie Teil II. – Courier Forsch.-Inst. Senckenberg **183**, S. 47–54

Gast, R. E. (1997): Palaeomorphological Control on Rotliegend Reservoir Distribution. – EAGE 59th Conf., Extended Abstracts Vol. 2, P522, Geneva

Gast, R. E., Pasternak, M., Piske, J. & H.-J. Rasch (1999): Das Rotliegend im nordostdeutschen Raum: Regionale Übersicht, Stratigraphie, Fazies und Diagenese. – Geol. Jb. **A 149**, S. 44–55

Gast, R. & T. Gundlach (2006): Permian strike slip and extensional tectonics in Lower Saxony, Germany. – Z. dt. Ges. Geowiss. **157**, 1, S. 41–56

Gast, R., Gessner, J. & Th. Gundlach (1999): Optimisation of Facies Prediction based on Grainsize Analysis with High Resolution Scanner (Rotliegend, NW-Germany). – Lippard, S. J., Naess, A. & R. Sinding-Larsen (eds.): Proceedings of IAMG 1999 Trondheim, S. 343–348

Gast, R. E., Dusar, M., Breitkreuz, C., Gaupp, R., Schneider, J.W., Stemmerik, L., Geluk, M. C., Geissler, M., Kiersnowski, H., Glennie, K.W., Kabel, S. & N. S. Jones (2010): Rotliegend. – In: Doornenbal, J.C. & A. G. Stevenson (eds.): Petroleum Geological Atlas of the Southern Permian Basin Area. – S. 101–121, EAGE Publications b. v. (Houten)

Gaupp, R., Matter, A., Platt, J., Ramseyer, K. & J. Walzebuck (1993): Diagenesis and fluid evolution of deeply buried Permian (Rotliegende) Gas Reservoirs. – AAPG-Bulletin **77**, 7, S. 1111–1128

Gebhardt, U. (1994): Zur Genese der Rotliegend-Salinare in der Norddeutschen Senke (Oberrotliegend II, Perm). – Freib. Forsch.-H. **C 452**, S. 3–22

Glennie, K. W. (1972): Permian Rotliegendes of Northwest Europe interpreted in light of modern desert sedimentation studies. – AAPG-Bulletin **56**, S. 1048–1071

Glennie, K. W. & Buller, A. T. (1983): The Permian Weissliegend of North West Europe. The partial deformation of aeolian dune sands caused by the Zechstein transgression. – Sed. Geol. **35**, S. 43–81

Glennie, K. W., Pugh, J. M. & T. M. Goodall (1994): Late Quaternary Arabian desert models of Permian Rotliegend reservoirs. – Exploration Bulletin **274**, S. 1–19

Glennie, K. & A. Hurst (2007): Fluidization and associated soft-sediment deformation in eolian sandstones: Hopeman Sandstone (Permian), Scotland, and Rotliegend, North Sea. – AAPG-Memoir **87**, S. 245–252

Göthel, M. (2020): Die lithostratigraphischen Einheiten des Zechstein – Fortschritte aus Neubewertungen von Erkundungsergebnissen Brandenburgs (Deutschland) im Vergleich zu benachbarten Regionen. – Brandenburg. geowiss. Beitr. **27**, 1/2, S. 5–25

Hardie, L. A., Smoot, J. P. & H. P. Eugster (1978): Saline lakes and their deposits: a sedimentological approach. – Intern. Assoc. Sediment., Spec. Publ. **2**, S. 7–41

Katzung, G. (1995): Präzechstein in Zentral- und Ostbrandenburg. – Berliner geowiss. Abh. **A 168**, S. 5–21

King, D. (1956): The Quarternary stratigraphic record at Lake Eyre north and the evolution of existing topographic forms. – Transactions of the Royal Society of South Australia Incorporated **Vol 79**, S. 93–103

Kocurek, G. (1988): First-order and super bounding surfaces in aeolian sequences - bounding surfaces revisited. – Sedimentary Geology **56**, S.193–206

Kocurek, G. A. (1996): Desert aeolian systems.– In: Reading, H. G. (ed.): Sedimentary environments: Processes, facies and stratigraphy. – S. 125–153, Oxford (Blackwell Sciences)

Ladipo, K. O. (1997): Cyclostratigraphy of the Upper Rotliegend Slochteren Formation, NE Netherlands: a genetic unit subdivision and correlation of fluvio-aeolian facies. – Exploration and Production News Letter, Barren Sequences Special Issue, S. 43–45

Legler, B. (2006): Faziesentwicklung im Südlichen Permbecken in Abhängigkeit von Tektonik, eustatischen Meeresspiegelschwankungen des Proto-Atlantik und Klimavariabilität (Oberrotliegend, Nordwesteuropa). – Schr.-R. Dt. Ges. Geowiss. **47**, 108 S.

Legler, B., Schneider, J.W., Gebhardt, U., Merten, D. & R. Gaupp (2011): Lake deposits of moderate salinity as sensitive indicators of lake level fluctuations: Example from the Upper Rotliegend saline lake (Middle–Late Permian, Northeast Germany). – Sedimentary Geology **234**, S. 56–69

Magee, J. W., Bowler, J. M., Miller, G. H. & D. L. G. Williams (1995): Stratigraphy, sedimentology, chronology and palaeohydrology of Quaternary lacustrine deposits at Madigan Gulf, Lake Eyre, south Australia. – Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology **113**, 1, S. 3–42

Menning, M. (1995): A numerical timescale for the Permian and Triassic periods: an integrated time analysis. –
In: Scholle, P. A., Peryt, T. M., & D. S. Ulmer-Scholle (eds.): The Permian of Northern Pangea. – Vol. 1, S. 77–97, Berlin, Heidelberg, New York (Springer)

Miall, A.D., 1996. The Geology of Fluvial Deposits. Springer, Berlin Heidelberg New York.

Menning, M., Glodny, J., Boy, J., Gast, R., Kowalczyk, G., Martens, T., Rössler, R., Schindler, T., von Sekkendorff, V. & S. Voigt (2022): Das Rotliegend in der Stratigraphischen Tabelle von Deutschland 2016 (STD 2016). – Z. Dt. Ges. Geowiss. **173**, 1, S 3–139

Milankovitsch, M. (1941): Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitproblem. – Belgrade Serbian Academy of Science **133**, 633 S.

Mingram, J. (1988): Lithofazielle, milieuanalytische und petrografische Untersuchungen im höheren Saxon der südwestlichen Altmark. – Diss. Bergakademie Freiberg, 60 S. (unveröff.)

Plein, E. (1978): Rotliegend-Ablagerungen im Norddeutschen Becken. – Z. Dt. Geol. Ges. **129**, S. 71–97

Plein, E. (1993): Bemerkungen zum Ablauf der paläogeographischen Entwicklung im Stefan und Rotliegend des Norddeutschen Beckens. – Geol. Jb. **A131**, S. 99–116

Rodriguez-Lopez, J., Clemmensen, L. B., Lancaster, N., Mountney, N, P & G. D. Veiga (2014): Archean to Recent aeolian sand systems and their sedimentary record: Current understanding and future prospects. – Sedimentology **61**, S. 1487–1534

Rognon, P. (1979): Pluvial and arid phases in the Sahara: The role of non-climatic factors. – Palaeoecology of Africa and the surrounding seas **12**, S. 45–62

Schröder, L., Plein, E., Bachmann, G. H., Gast, R. E., Gebhardt, U., Graf, R., Helmuth, H.-J., Pasternak, M., Porth, H. & S. Süssmuth (1995): Stratigraphische Neugliederung des Rotliegend im Norddeutschen Becken. – Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg **183**, S. 1–193, 81 Abb., 10 Tab., 8 Taf.;

Siever, R. (1988): Sand; Ein Archiv der Erdgeschichte. – Spektrum der Wissenschaft, 254 S.

Strasser A, Hilgen, F. J. & P. H. Heckel (2006): Cyclostratigraphy – concepts, definitions, and applications. – Newsl. Stratigr. **42**, S. 75–114

Trusheim, F. (1971): Zur Bildung der Salzlager im Rotliegenden und Mesozoikum Mitteleuropas. – Beih. Geol. Jb. **112**, S. 1–51

Vail, P. R., Mitchum, R. M., Todd, R. G., Widmer, J. M., Thompson, S., Sangree, J. B., Bubb, J. N. & W. G. Hatfield (1977): Seismic stratigraphy and global changes in sea level. – AAPG-Memoir **26**, S. 49–212

Van de Kamp, P. C. (1973): Holocene continental sedimentation in the Salton Basin, California, a reconnaissance. – Geological Society of American Bulletin **84**, S. 827–848

Van Wees, V., Stephenson, R. A., Ziegler, P. A., Bayer, U., McCann, T., Dadlez, R., Gaupp, R., Narkiewicz, M., Bitzer, F. & M. Scheck (2000): On the origin of the Southern Permian Basin, Central Europe. – Mar. Petrol. Geol. **17**, S. 43–49

Verdier, J. P. (1996): The Rotliegend sedimentation history of the southern North Sea and adjacent countries.– In: H. E. Rondeel, et al. (eds.), Geology of gas and oil under the Netherlands. – S. 45–56, Dordrecht (Kluwer Academic Publisher)

Walther, J. (1900): Gesetz der Wüstenbildung in Gegenwart und Vorzeit. – 440 S., hrsg. m. Unterstütz. Königl. Akad. d. Wiss. Berlin, Berlin (Verlag Dietrich Reimer)

Yang, C. S. & Y. A. Baumfalk (1994): Milankovitch cyclicity in the Upper Rotliegend Group of the Netherlands offshore. – Special Publications Int. Ass. Sediment. **19**, S. 47–61

Ziegler, P. A. (1990): Geological Atlas of Western and Central Europe. – 2nd ed., 239 pp, Shell Internat. Petrol. Maatschappij, The Hague

Internet:
https://www.flickr.com/photos/patrick_k59/48372059862/ über https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lake_Eyre_2019_02.jpg (patrickkavanagh, CC BY 2.0 <https://creativecommons.org/licenses/by/2.0>, via Wikimedia Commons); *zuletzt zugegriffen am: 19.05.2025

Anschrift des Autors:

Dr. Reinhard Gast
Heidelücker Weg 9
24986 Mittelangeln

Brandenburg. Geowiss. Beitr.	Cottbus	Bd. 32/2025	S. 31–55	18 Abb., 52 Lit.

Erläuterungen zu den Karten der Quartärbasis und der limnischen und limnisch-fluviatilen Ablagerungen der Holstein-Warmzeit und des Unter-Saale in Brandenburg und Berlin: Teil 1 – Klüß-Gartow- und Gorlebener Rinne

Explanatory notes on the maps of the Quaternary base and the limnic and limnic-fluvial deposits of the Holsteinian interglacial and the Lower Saalian in Brandenburg and Berlin: Part 1 – Klüß-Gartow and Gorleben channels

Jaqueline Strahl & Sophia Rütters

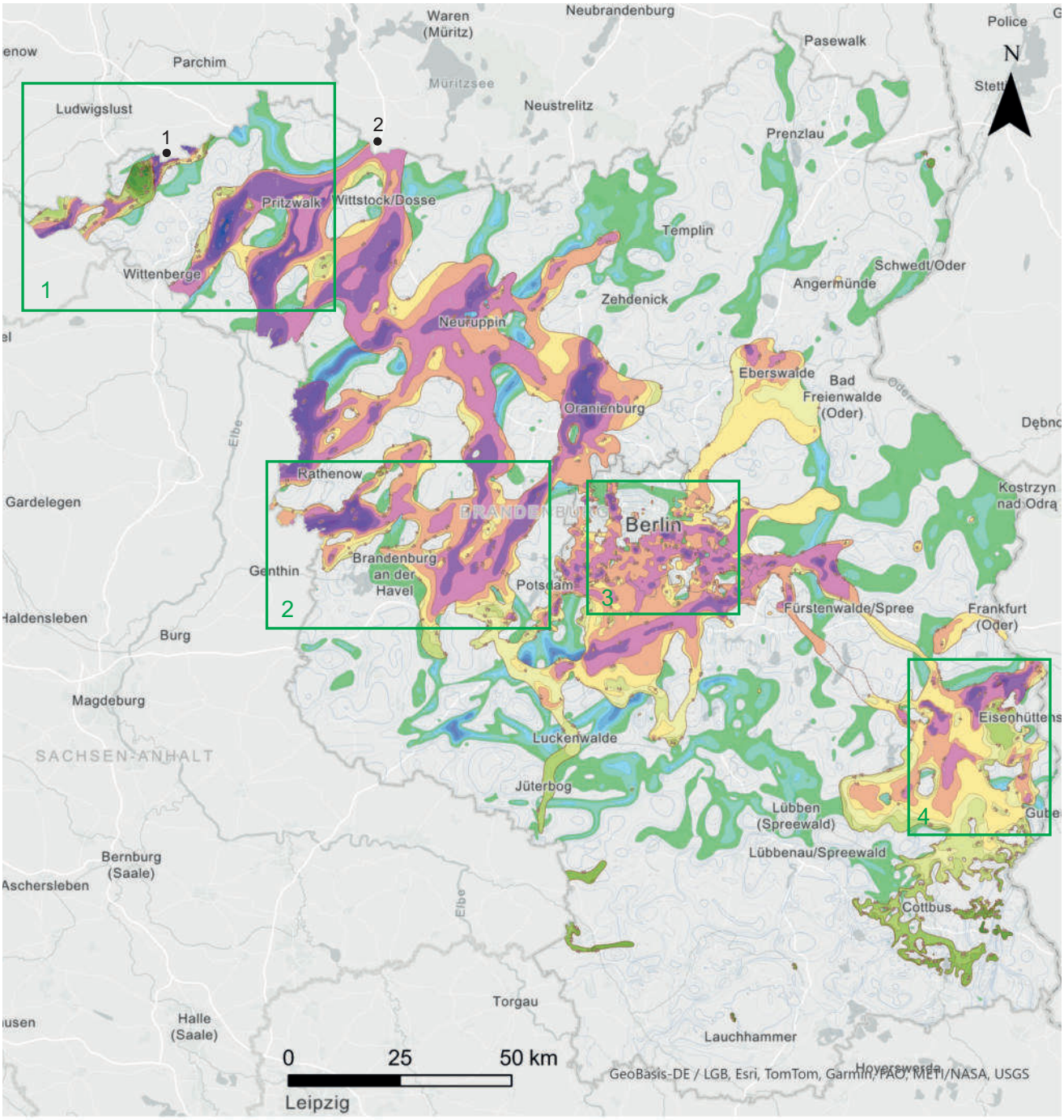
1 Einleitung

Die erste Karte zur „Verbreitung und Tiefenlage der Holstein-Warmzeit und frühsaalezeitlicher Ablagerungen“ wurde im Atlas zur Geologie von Brandenburg im Maßstab 1 : 000 000 publiziert (Zwirner & Ziermann in Stackebrandt 2010). Die aktuelle, im Arbeitsmaßstab 1 : 50 000 erarbeitete Karte (Abb. 1), basiert auf dem Kartenwerk der Lithofazieskarte Quartär sowie auf inzwischen 476 palynostratifizierten Alt- (vor 1989) und Neubohrungen. Diese wurden zunächst zur Ermittlung der gebietsabhängigen Tiefenniveaus der Unterkante der holsteinzeitlichen Ablagerungen herangezogen. Darauf basierend konnten im Zuge einer Datenbankrecherche in Zusammenarbeit mit dem Land Berlin insgesamt weitere rund 3 000 Bohrungen als entweder holstein- bzw. holstein- bis fuhnezeitlich oder als dömnitz- bis postdömnitzzeitlich identifiziert werden. Maßgebend dafür waren ein organogener Sedimentcharakter sowie der Nachweis der Leitart der Paludinenschichten, *Viviparus diluvianus* KUNTH. Unter Hinzuziehung der Quartärbasiskarte kann bei gleichartigem Tiefenniveau zudem eine verhältnismäßig sichere Abgrenzung organogener tertiärer Ablagerungen der Rinnenzwischengebiete von den petrographisch teils sehr ähnlichen holsteinzeitlichen Ablagerungen in Rinnenposition vorgenommen werden.

Im Vergleich der Rinnen und Paläobecken besteht eine sehr heterogene Datenlage hinsichtlich der Bohrungsdichte und -lage. Meistenteils zeichnen sich auf bestimmte Gebiete beschränkte Cluster ab, die beispielsweise auf hydrogeologische Erkundungsprogramme, die Erkundung von Lagerstätten auf Ton oder Kieselgur, die klimabedingt vermehrte Anlage von Beregnungs- und Feuerlöschbrunnen sowie das Abteufen von Erdwärmesonden zurückgehen. Hinzu kommen reflexionsseismische Untersuchungen (u. a. Reinhard 1967; Hönemann, Küstermann & Meyer 1995; Giersch, Küstermann et al. 1989). Zudem gewinnt als weitere geophysikalische Methode das tTEM-Verfahren (towed transient electromagnetic system) zunehmend an Bedeutung. Neben der Lokalisierung bindiger Rinnenfüllungen kann damit auch der Verlauf der Rinnenstrukturen selbst präzise auskartiert werden (vgl. Beitrag Rosin in diesem Band). Durch die Aufbereitung und das Management der Daten mittels GIS kann auch in Bereichen mit nur geringer Datendichte innerhalb der bekannten Verbreitungsgebiete die Tiefenlage holsteinzeitlicher Schichten interpoliert werden (vorrangig über das Interpolationswerkzeug „Natürlicher Nachbar“ und Inverse Distance Weighting). Unterstützt durch einen dynamischen Workflow in der GIS-Umgebung kann bei Verfügbarkeit neuer Daten nicht nur eine zeitnahe Aktualisierung und Präzisierung der Holstein-Verbreitung, sondern auch der bereits digital vorliegenden Quartärbasiskarte erfolgen.

Die Ablagerungen der Holstein-Warmzeit und der an sie anschließenden Unter-Saale-zeitlichen Fuhne-Kaltzeit sind das Resultat limnischer, limnisch-fluviatiler aber auch brackisch-mariner Sedimentationsprozesse. Sie besitzen in Brandenburg und Berlin aufgrund ihrer engen Bindung an die Vielzahl der elsterkaltzeitlich angelegten tiefen Rinnensysteme und großen Paläobecken eine flächenhafte Verbreitung. Charakteristisch sind vor allem organogene Schluff- und Tonhorizonte. Durch ihre bindige Ausbildung stellen die Ablagerungen einen wichtigen Grundwasserhemmer zwischen den elsterspätglazialen bis frühholstein- und untersaalezeitlichen (glazi-)fluviatilen Ablagerungen dar (vgl. auch Beitrag Rosin in diesem Band).

Einzelvorkommen sind selten und in der Regel an kleinräumige Toteisbecken oder Rinnen geringer Tiefe im Bereich



Legende

Isobathen Holsteinbasis
- Verbreitungsgrenze
- 20er
- 10er
- Vermutete Verbreitungsgrenze
- Vermutete Isobathen
- Scholle

Isobathen Quartärbasis
m (NHN)
- 100er
- 50er
- 25er

Tiefenniveaus Holsteinbasis (m NHN)
- -169 m - -170 m
- -169 m - -160 m
- -159 m - -150 m
- -149 m - -140 m
- -139 m - -130 m
- -129 m - -120 m
- -119 m - -110 m
- -109 m - -100 m
- -99 m - -90 m
- -89 m - -80 m
- -79 m - -70 m
- -69 m - -60 m
- -59 m - -50 m
- -49 m - -40 m
- -39 m - -30 m
- -29 m - -20 m
- -19 m - -10 m
- -9 m - 0 m
- +1 m - +10 m
- +11 m - +20 m
- +21 m - +30 m
- +31 m - +40 m
- +41 m - +50 m
- +51 m - +60 m
- +61 m - +70 m

Quartärbasis
Rinnensysteme (Stand 2024)
- -518 - -500
- -500 - -450
- -450 - -400
- -400 - -350
- -350 - -300
- -300 - -250
- -250 - -200
- -200 - -150
- -150 - -100
- -100 - +200

Abb. 1:
Karte zur „Verbreitung und Tiefenlage der Holstein-Warmzeit und frühsaalezeitlicher Ablagerungen" in Brandenburg und Berlin (Stand 2025)
Rahmen grün: 1 – Prignitz;
2 – Westbrandenburgisches Holstein-Becken;
3 – Berliner Becken; 4 – Fünfeichener Becken
Punkt 1 – Klüß-Gartow- und Gorlebener Rinne;
Punkt 2 – Prignitz-Rinne

Fig. 1:
Map of the 'Distribution and depth of the Holstein-Warm Period and Early Saalian deposits' in Brandenburg and Berlin (status 2025)

tertiärer bis elsterzeitlicher Hochflächen (Rinnenzwischengebiete), beispielsweise in Südbrandenburg (vgl. Beitrag Strahl in diesem Band) und in der Uckermark, gebunden. Die Rinnenzwischengebiete stellen gegenüber den Rinnen die Hauptverbreitungsgebiete der Dömnitz-Warmzeit dar. Diese ist in Brandenburg und Berlin die derzeit einzige weitere bekannte Warmzeit innerhalb des Unter-Saale.

Entsprechend eng war und ist die Erarbeitung der Karte der limnischen und limnisch-fluviatilen Ablagerungen der Holstein-Warmzeit und des Unter-Saale in Brandenburg und Berlin mit der stetigen Aktualisierung der ebenfalls auf dem Arbeitsmaßstab 1 : 50 000 basierenden digitalen Karte der Quartärbasis 1 : 100 000 des Landes Brandenburg (Abb. 2) verbunden.

Für die Quartärbasiskarte existierten bisher nur Kurzerläuterungen (Sonntag & Lippstreu 2004, 2010) sowie eine vorläufige, teils nicht richtungsorientierte und unvollständige Benennung der tiefen quartären Rinnen, die mit diesen Erläuterungen verbindlich vervollständigt und systematisiert werden soll (Abb. 2).

Die für Brandenburg und Berlin letzte zusammenfassende Darstellung der paläogeographischen und vegetationsgeschichtlichen Entwicklung für den Zeitraum der ausgehenden Elster-Kaltzeit bis in das Unter-Saale einschließlich eines historischen Exkurses zur wissenschaftlichen Erforschung der Holstein-Warmzeit erfolgte durch Lippstreu et al. (2015).

Die Holstein-Warmzeit ist in Brandenburg und Berlin die älteste existierende Warmzeit. Vorkommen älterer mittel- und altpleistozäner Ablagerungen sind nicht bekannt.

Typusgebiet (Abb. 1) für die (teils noch heute genutzte) Kartiereinheit des sogenannten „Holstein-Komplexes" (Cepek 1967) mit den Stufen der Holstein-Warmzeit, der Fuhne-Kaltzeit und der Dömnitz-Warmzeit (zusf. Lippstreu et al. 2015) ist die Prignitz in NW-Brandenburg (Abb. 1). *Locus typicus* ist das Stadtgebiet von Pritzwalk mit dem Richtprofil der Kb Pritzwalk 1E/61 (Kb Pt 1E/61) (TGL 25 234/07 1981), das neben anderen Holstein-Vorkommen in NW-Deutschland durch die Subkommission für Quartärstratigraphie (SQS) der Deutschen Stratigraphischen Kommission (DSK) als Typusprofil für die Festlegung der Unter- und Obergrenze der Holstein-Warmzeit s. str. ausgewählt wurde (Litt et al. 2007). Als Typusregion der Holstein-Warmzeit für ganz Deutschland gilt das Unterelbegebiet (Jerz & Linke 1983).

Der aktuelle Stand zur Palynostratigraphie der Holstein-Warmzeit und des Unter-Saale in Brandenburg und Berlin ist wegen des großen Umfanges zum Gegenstand einer eigenständigen Publikation gemacht worden (Strahl 2023). In den Erläuterungen wird darauf hinsichtlich der altersmäßigen Einstufungen der Sedimentfüllungen der Rinnensysteme Bezug genommen.

Quartärbasis und Verbreitung der Holstein- und Fuhne-zeitlichen Ablagerungen in Brandenburg und Berlin

Maßgeblich für die flächenhafte Verbreitung holstein- und fuhnezeitlicher Ablagerungen war das in der Eiszerfallsphase des Elster-1-Glazials erfolgende Einschneiden tiefer, meist schmaler Rinnen in das tertiäre und teils auch mesozoische Deckgebirge (Abb. 2; vgl. auch Sonntag & Lippstreu 2004, 2010). Weitestgehender Konsens besteht dabei hinsichtlich ihrer subglazial-erosiven Anlage und späteren exarativen Aufweitung und Ausformung (u. a. Duphorn 1987; Klinge et al. 2002; Sonntag & Lippstreu 2004; Breuer et al. 2024). Aber auch salztektonische und glazialisostatische Prozesse werden beispielsweise für das Gebiet SW-Mecklenburgs und NW-Brandenburgs diskutiert (u. a. von Bülow 2000, 2004; Müller & Obst 2008). Weiterhin betont Stackebrandt (2009, 2015) aufgrund der Annahme der neotektonischen Reaktivierung der Mitteleuropäischen Senkungszone den endogenen Aspekt bei der Entstehung insbesondere übertiefer Rinnenbereiche. Die sich hauptsächlich in NNE–SSW, NE–SW- und seltener auch in N–S-Richtung (z. B. Prenzlau-Eberswalde-Storkow-Rinne, Kyritz-Ruppin-Rinne und Lübbener Quartärhauptrinne; Abb. 2) verlaufenden Rinnen zeigen in ihrem Längsprofil ein stark durchbewegtes Relief mit örtlich starken Übertiefungen bis zu mehr als -500 m NHN (Hönemann, Küstermann & Meyer 1995). Sie gehen zuweilen mit der kompletten Ausräumung tertiärer Schichten einher (daher auch Quartäre Ausräumungszonen, QAZ) und können, wie beispielsweise auf der Salzstruktur Gorleben-Rambow, bis in die Ablagerungen des Zechstein hinein reichen. Die markantesten Rinnenzüge reihen sich, abgesehen von der Prenzlau-Eberswalde-Storkow-Rinne unter weitgehender Auslassung der Uckermark, in einem ca. 175 km breiten NW–SE gerichteten Korridor aneinander. Südlich der Motzen-Treuenbrietzen-Rinne (Abb. 2) verflachen die sich hier beckenartig verzweigenden Rinnen deutlich und erreichen mit ihrer Basis, außer vereinzelter Übertiefungen in der Petkus und der Lübbener Quartärhauptrinne, nur noch Basiswerte zwischen -100 bis -150 m NHN. Im östlichen Bran-

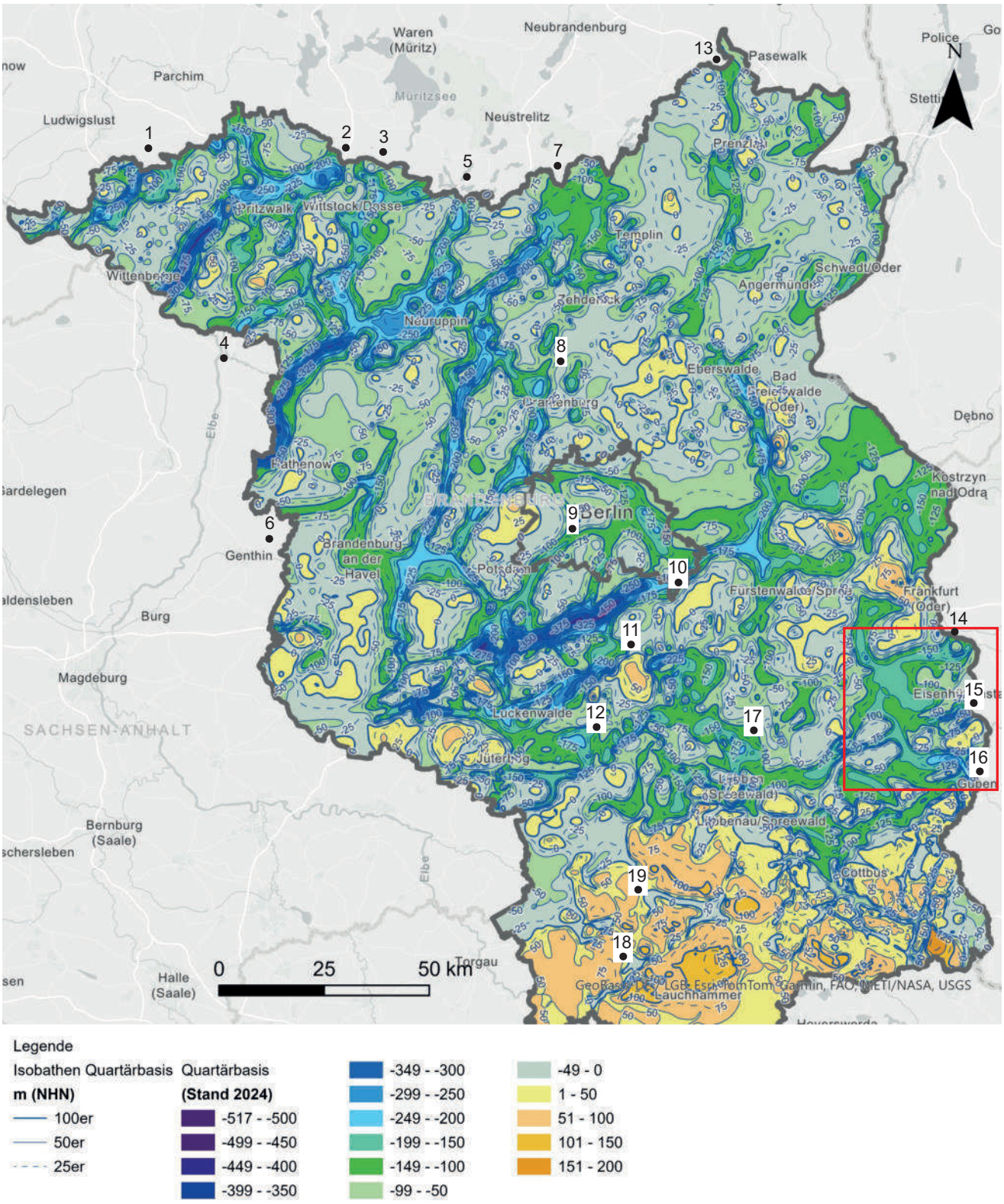


Abb. 2: Karte der Quartärbasis des Landes Brandenburg (Stand 2024)
1 – Klüß-Gartow- und Gorlebener Rinne; 2 – Prignitz-Rinne; 3 – Kyritz-Ruppin-Rinne; 4 – Vehlow-Quitzöbel-Rinne; 5 – Ruppin-Altmark-Rinne; 6 – Premnitz-Genthin-Rinne; 7 – Fürstenberg-Nauen-Havelland-Rinne; 8 – Oranienburg-Falkensee-Rinne; 9 – Tegel-Dreilinden-Beelitz-Rinne; 10 – Schmöckwitz-Ludwigsfelde-Blankensee-Rinne; 11 – Motzen-Treuenbrietzen-Rinne; 12 – Petkus-Rinne; 13 – Prenzlau-Eberswalde-Storkow-Rinne; 14 – Urad-Aurith-Rinne; 15 – Neuzelle-Goyatz-Rinne; 16 – Guben-Peitz-Lübbenau-Rinne; 17 = Lübbener Quartärhauptrinne; 18 – Finsterwalde-Rinne; 19 – Sonnewalde-Rinne; Rahmen rot: Fünfeichener Becken

Fig. 2: Map of the Quaternary base of the state of Brandenburg (status 2024)

denburg befindet sich zwischen Frankfurt (Oder) und Guben die vermutlich einzige echte, aus mehreren Teilbecken aufgebaute und durch tertiäre Hochlagengebiete durchragte größere Beckenstruktur, das Fünfeichener Becken (Grosser & Hannemann 1960; Abb. 2) mit einer Tiefenbasis von maximal -200 m NHN (Hannemann 1964). Die auffälligsten, in das Fünfeichener Becken von NE bzw. E hereinziehenden Rinnen sind die Urad-Aurith-, die Neuzelle-Goyatz- und die markante Guben-Peitz-Lübbenau-Rinne mit maximalen Übertiefungen von -200 bis -300 m NHN (Abb. 2).

Meistenteils aus Tertiär aufgebaute Hochlagenbereiche von mehr als +100 m NHN prägen vor allem den Süden Brandenburgs zwischen Forst (Lausitz) im Osten und Herzberg (Elster) im Westen. Sie werden von QAZ bis -100 m NHN durchzogen, wobei die Erosion maßgeblich bis zur Ausräumung des miozänen 2. Lausitzer Flözes reichte (Sonntag & Lippstreu 2004).

Die Verfüllung der Rinnen begann syngenetisch zu ihrer Anlage und setzte sich mit dem Zerfall des Elster-1-Eises rasch fort. Hinsichtlich der hinterlassenen Unteren Rinnenfolge bestehen teilweise chaotische Lagerungsbedingungen (Lippstreu et al. 2015). Neben häufig wechsellagernden klastischen Schmelzwasser- und Staubeckenablagerungen finden sich infolge von Rutschungen oder Abspülungen verlagerte prä-quartäre Sedimente sowie verstürzter oder geflossener Geschiebemergel.

Im ausgehenden Elster-1-Glazial (Berner 2000) und während des Elster-2-Glazials (Sonntag 2008) führten exarative und glazigene Prozesse partiell zu beckenartigen Aufweitungen noch nicht verfüllter Rinnenbereiche und Deformationen an den Rinnenrändern. Die Schaffung flacherer Beckenstrukturen, welche teils die Rinnen verbinden, bildeten später gebietsweise die Basis für die Ausbildung größerer zusammenhängender Sedimentationsräume während der Holstein-Warmzeit (z. B. Westbrandenburgisches und Berliner Holstein-Becken; Abb. 1).

Die im Elster-2-Glazial und seinem Spätglazial abgesetzte Obere Rinnenfolge beinhaltet teilweise sehr mächtige, vielfach ganze Tertiärschollen führende Geschiebemergel, verschiedenkörnige Schmelzwasserablagerungen und aus teils feinsandigen Tonen und Schluffen mit eingeschalteten Feinsandlagen bestehende Staubeckensedimente. Den Abschluss der elsterkaltzeitlichen Sedimentation bildet in NW-Brandenburg die überwiegend glazilimnische und in ihrer Spätphase marine Lauenburger Ton-Folge (Litholex: Lauenburg-Formation, https://litholex.bgr.de). Sie kam während des Elster-Spätglazials zum Absatz und findet ihr Äquivalent im ausschließlich limnischen Frankfurter Ton in Ostbrandenburg.

Im Übergang zur Holstein-Warmzeit bildete sich durch den Abbau von in den Rinnen und Becken verbliebenem Toteis und dem damit verbundenen Grundwasserspiegelanstieg Brandenburg-weit eine durch nicht erodierte Hochlagenbereiche reich gegliederte Seenlandschaft heraus (Abb. 1). Die Restgewässer innerhalb der Rinnen waren dabei oft perlschnurartig aneinandergereiht (z. B. Klüß-Gartow-Rinne, Prignitz-Rinne, Ruppin-Altmark-Rinne; Abb. 1). Gebietsweise entstanden zunächst nur in den tiefsten Bereichen der Rinnen und Becken Seen. Erst durch weiteren Grundwasserspiegelanstieg, spätestens mit der Transgression des Holstein-Meeres, vereinigten sich diese zu Großseen (z. B. Westbrandenburgisches Holstein-Becken, Berliner und Fünfeichener Becken; Abb. 1).

Mit dem Eiszerfall wurden sukzessive auch wieder von S und SE her NW-gerichtete Flusssysteme aktiv, in deren Vorlauf anfänglich glazifluviatile Sedimente geschüttet wurden. Mit zunehmender Erwärmung im Übergang zur Holstein-Warmzeit wurde dieses durch das Fluviatil der Flüsse ersetzt. Von Bedeutung sind dabei die Vorläufer von Spree, Neiße und Oder im SE und E sowie Elbe und Elster im Süden Brandenburgs. Ihre Sedimentfracht prägte vor allem das östliche und südwestliche Brandenburg bis in den Süden und Südwesten von Berlin, die in der Ausbildung teils mächtiger Schwemmfächersedimente mündete.

Insofern ist auch eine Differenzierung der Ausbildung der holstein- bis fuhnezeitlichen Sedimentfolgen in eine rein limnische, teils brackisch-marin beeinflusste Rinnenfazies und eine limnisch bis limnisch-fluviatile Fazies vorzunehmen. Die tiefen Rinnen NW-Brandenburgs zeigen ab dem Elster-Spätglazial eine mehr oder weniger kontinuierliche Akkumulation von feinkörnigen Sedimenten. Dazu gehören oft Vivianit führende Tone, Schluffe, Ton-, Schluff- und fein- bis grobdetritische Organomudden sowie Torfe, die bis zum Ende der Fuhne-Kaltzeit so gut wie keine fluviatilen Einflüsse aufweisen. Eingeschaltet in diese Folgen sind ebenfalls feinklastische marine Sedimente wie Tone und Schluffe. Nur im Bereich der Gorlebener Rinne finden sich auch marine Sande.

Nach SE treten immer stärker fluviatile Ablagerungen in Erscheinung, die den limnischen Bildungen der Rinnen und Becken vor- oder auch zwischengeschaltet sind. Im Wesentlichen von den Rinnen ausgehende flächendeckende fluviatile Schüttungen, die auch die Rinnenzwischengebiete erreichten, erfolgten erst postfuhnezeitlich. Sie führten noch im Unter-Saale zu einer endgültigen Verfüllung bis dahin aktiver Sedimentationsbereiche der Rinnen und der Rinnenzwischengebiete und damit zu einem generellen Reliefausgleich.

In Abhängigkeit vom Bearbeitungsstand der Quartärbasiskarte und der Karte der limnischen und limnisch-fluviatilen Ablagerungen der Holstein-Warmzeit und des Unter-Saale in Brandenburg und Berlin sollen in loser Folge neben den einzelnen Rinnen und den aus ihnen teils hervorgegangenen sekundären Beckenstrukturen auch die Rinnenzwischengebiete hinsichtlich ihres Bezuges zur Quartärbasis, ihrer spezifischen Sedimente und ihrer stratigraphischen Alterstellung beleuchtet werden.

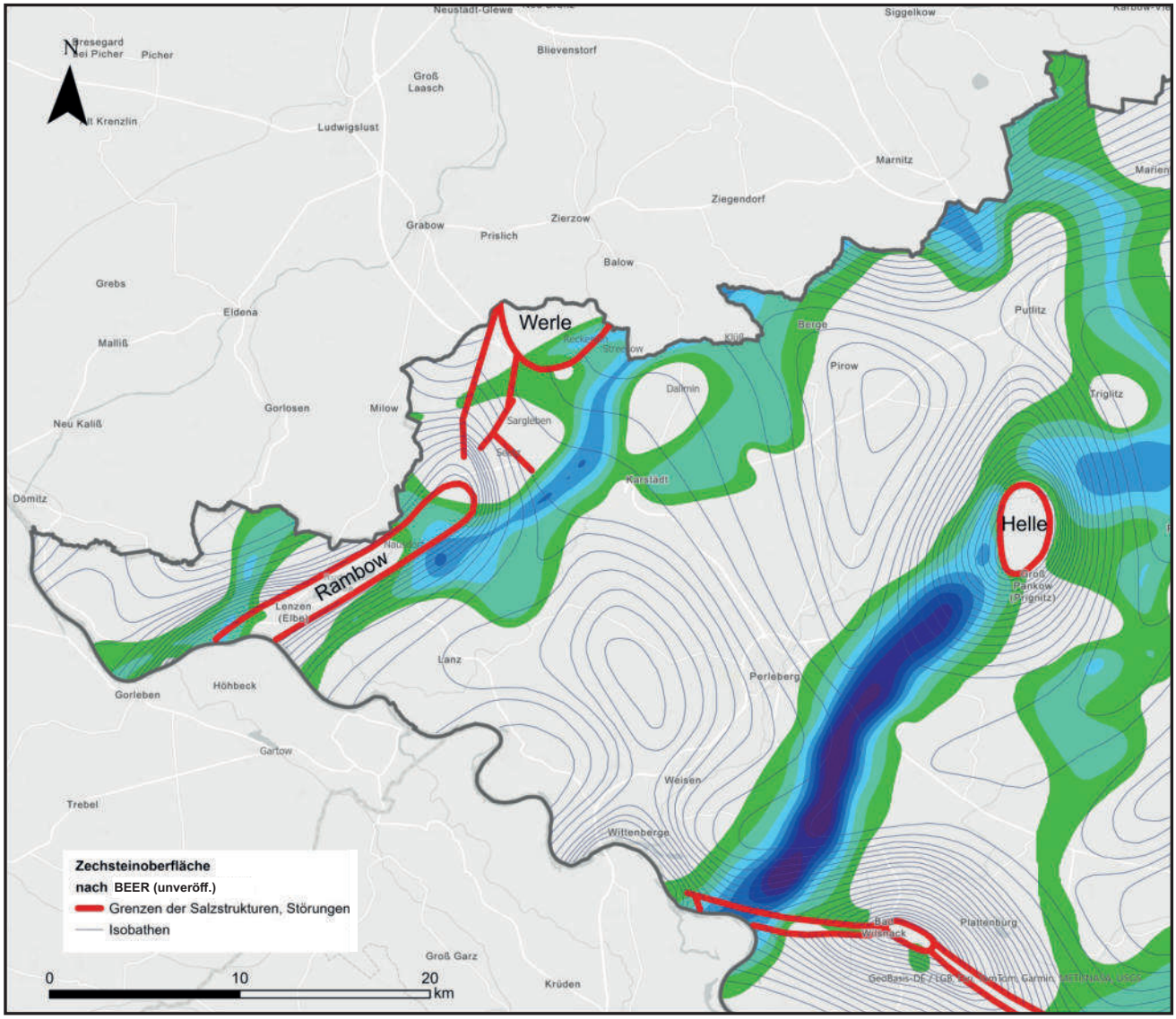


Abb. 3: Ausschnitt Quartärbasiskarte Prignitz (grüner Rahmen in Abb. 1) mit Klüß-Gartow-, Gorlebener und Prignitz-Rinne sowie den im Gebiet liegenden Salzstrukturen; Legende vgl. Abb. 2

Fig. 3: Section of the Quaternary base map of Prignitz (green frame in Fig. 1) with Klüß-Gartow, Gorleben and Prignitz channel and the salt structures in the area; see Fig. 2 for legend

Klüß- Gartow- und Gorlebener Rinne

Die Klüß-Gartow-Rinne bildet in Brandenburg die nordwestlichste der elsterkaltzeitlichen Rinnenstrukturen mit einer örtlich flächenhaften Verbreitung von holstein- und fuhnezeitlichen Sedimenten (Abb. 1 grüner Rahmen, 2, Abb. 3 Detailkarte). Die Rinne setzt in Mecklenburg östlich Güstrow mit zunächst nahezu N–S und nachfolgend NE–SW orientiertem Verlauf ein. Unter Querung des Salzkissens Marnitz (Müller & Obst 2008) passiert sie zwischen Reckenzin und Dallmin im NE die brandenburgische Grenze. Ab hier verläuft die Rinne mit ihren Ausbuchtungen weiter über Streesow und Sargleben als noch einheitliche Rinnenstruktur hinweg über das Südende der Salzstruktur Werle. In etwa Höhe Seetz erreicht sie den Salzstock Rambow, d. h. den ostelbischen Teil der Salzstruktur Gorleben-Rambow. Bei Nausdorf trennt sich über dem Salzstock sodann die Gorlebener Rinne von ihr ab (Abb. 2 u. 3). Die Klüß-Gartow-Rinne selbst setzt sich bis nach Lenzen reichend über die Südostflanke des Salzstocks Rambow sowie dessen flacherer SE-Randsenke in SW-Richtung fort und läuft schließlich auf niedersächsischem Gebiet in Richtung Gartow aus.

Die Gorlebener Rinne überstreicht im Wesentlichen nach einem den Salzstock im Norden umlaufenden Bogen in NNE–SSW-Richtung die NW-Randsenke des Salzstocks Rambow. Hier zweigt als eine weitere kleine Nebenrinne in westlicher Richtung die Wootz-Siemen-Rinne ab. Südwestlich Lenzen, noch vor Erreichen der Elbe, quert die Gorlebener Rinne über eine Länge von 10 km und einer Breite von ca. 2 km zunächst den Salzstock Rambow auf

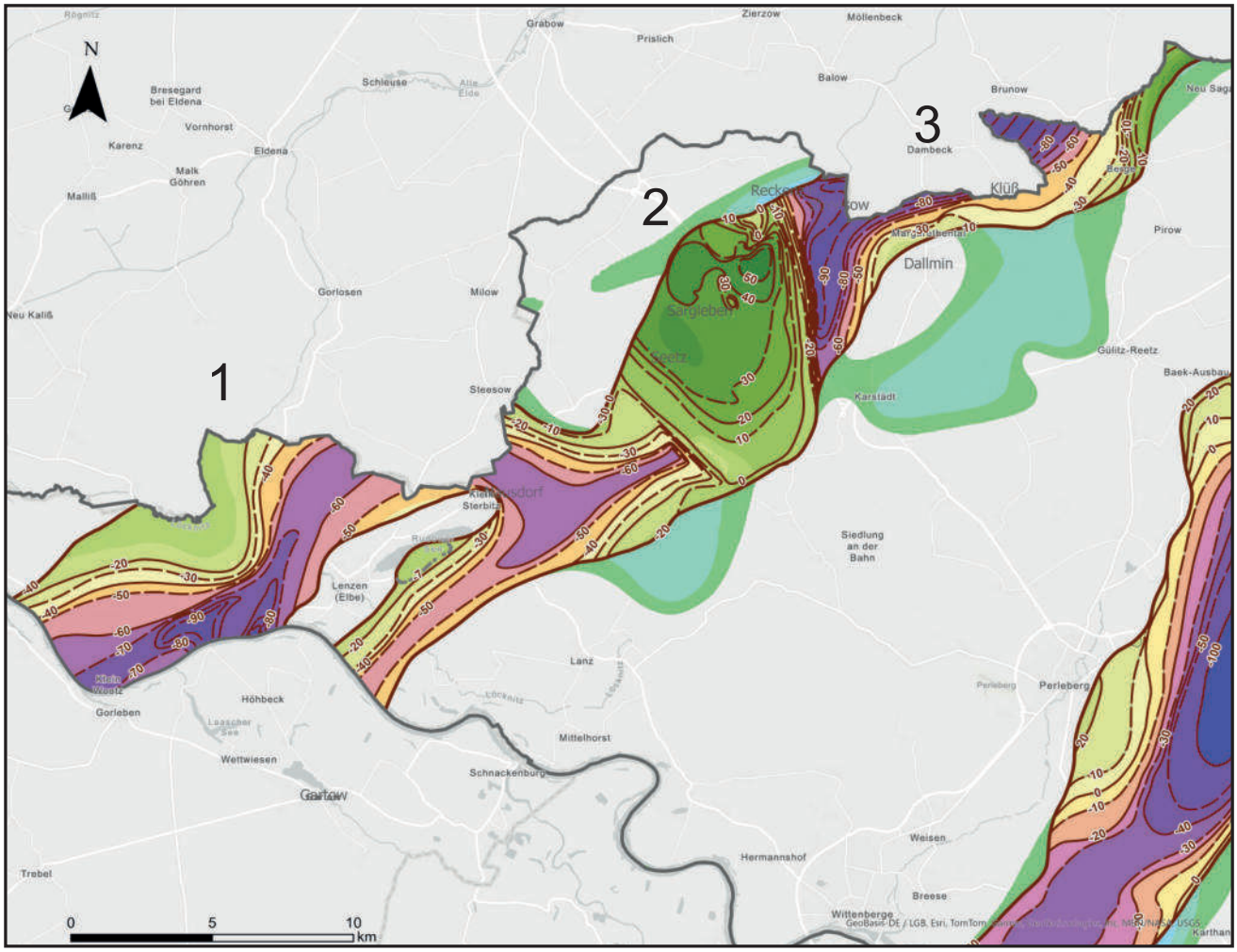


Abb. 4: Cluster holstein- und fuhnezeitlicher Ablagerungen in der Klüß-Gartow- und der Gorlebener Rinne; Legenden vgl. Abb. 1 und 2
1 – Gebiet Dömitz-Lenzen; 2 – Gebiet Streesow-Sargleben-Dargardt-Garlin; 3 – Gebiet Dallmin-Drefahl
Fig. 4: Cluster of Holsteinian and Fuhne cold period deposits in the Klüß-Gartow and Gorleben channel; see Fig. 1 and 2 for legends

brandenburgischem und dann den Salzstock Gorleben auf niedersächsischem Gebiet (Klinge et al. 2002; Strahl & Zwirner 2002; Köthe et al. 2007).

Die Klüß-Gartow- und die Gorlebener Rinne sind im Gebiet in nahezu flächenhaft verbreitetes Tertiär (Sonntag 2008) und hier teilweise bis in das Paläogen (Rupel; Müller & Obst 2008) tief eingeschnitten. Im Bereich des Salzstocks Gorleben, auf niedersächsischem Gebiet, wird bei -300 m NHN mit seinem Gipshut sogar das Zechstein erreicht (Appel & Habler 1998). Während die Basis in der Gorlebener Rinne in übertiefen Bereichen tiefer als -200 m NHN liegt (Klinge et al. 2002; Sonntag 2008), sind es in der Klüß-Gartow-Rinne im Raum Marnitz-Drefahl mehr als -400 m NHN (von Bülow 2004; Müller & Obst 2008).

Die Basis der partiell 300 bis mehr als 400 m mächtigen quartären Rinnenfüllungen bilden 2 bis 46 m mächtige Schmelzwassersande und -kiese sowie nicht immer flächendeckend verbreiteter, bis zu 146 m mächtiger Geschiebemergel der elsterkaltzeitlichen Unteren Rinnenfolge (Klinge et al. 2002; Köthe et al. 2007; Strahl & Zwirner 2002; Müller & Obst 2008). Auf diese folgt flächenhaft verbreitet die bis zu 163 m mächtig werdende spätelsterzeitliche, überwiegend glazilimnische Lauenburger Ton-Folge (Müller & Obst 2008). In ihrem Topbereich ist diese häufig rotbraun und tonig, seltener schluffig ausgebildet. Die Tone führen abschnittsweise marine Faunen, die von mindestens zwei Meeresvorstößen bereits im Elster-Spätglazial zeugen (Hinsch 1993; von Bülow 2004; Müller 2002, 2004; Müller & Obst 2008).

Postelsterzeitlich verblieben auf Brandenburger Gebiet insgesamt drei größere Rinnenrestbereiche innerhalb der der Klüß-Gartow-Rinne (2) und der Gorlebener Rinne (1), in denen während der Holstein-Warmzeit und der Fuhne-Kaltzeit fortlaufend limnische sowie auch brackisch-marine Sedimente abgesetzt wurden (Abb. 4). Am aussagekräftigsten, da pollenanalytisch sowie mikro- und

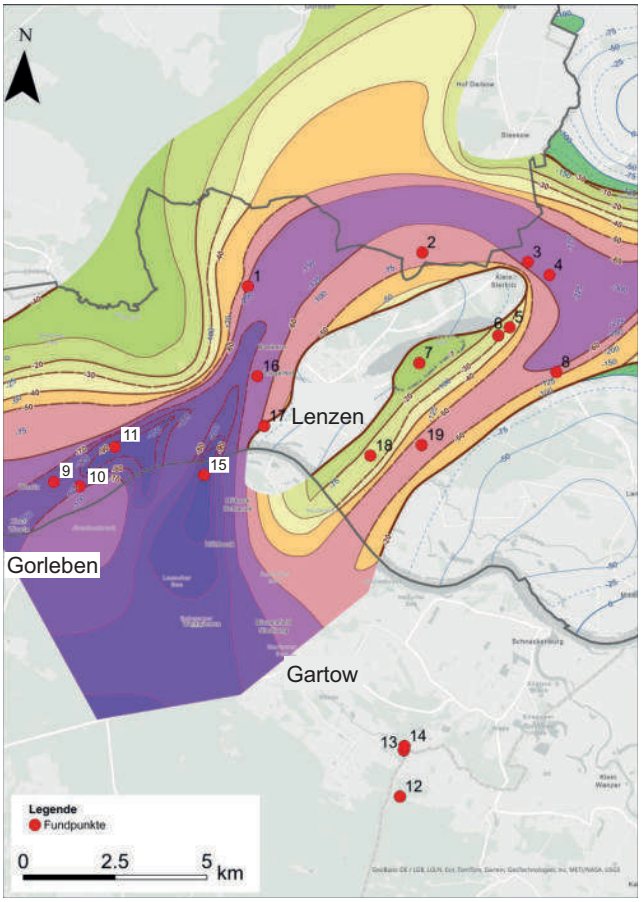


Abb. 5:
Holstein- und fuhnezeitliche Ablagerungen im Gebiet Dömitz-Lenzen mit den in der Abbildung 6 aufgeführten Bohrungen [Daten Niedersachsen: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen (LBEG)]; Legenden vgl. Abb. 1 und 2
1 – Hy Go 1623/96; 2 – Brk Grs 3/81;
3 – E Rmwl 1/52; 4 – Kb NSWM 25/66;
5 – Hy Lze 1/76; 6 – Hy Naf 1/68; 7 – Hy Dom 26/69;
8 – Hy Lanz 1/76; 9 – Hy Go 1510/96; 10 – Hy Go 2420/1998;
11 – Hy Go 1520/96; 12 – GoHy 852; 13 – HyGo 2122;
14 – HyGo 2124; 15 – Hy Go 1070/81; 16 – Hy Go 1553/96;
17 – Hy Go 1740/96; 18 – Hy Go 1542/96; 19 – Brk Grs 6/81

Fig. 5:
Holsteinian and Fuhne cold period deposits in the Dömitz-Lenzen area with the boreholes shown in Fig. 6 [Lower Saxony data: Lower Saxony State Office for Mining, Energy and Geology (LBEG)]; see Fig. 1 and 2 for legends

makropaläontologisch auf Diatomeen, Foraminiferen, Ostrakoden und Mollusken untersucht, sind die Cluster mit holstein- bis fuhnezeitlichen Ablagerungen im Raum Dömitz-Lenzen und Streesow-Sargleben-Dargardt-Garlin.

Das Gebiet Dömitz-Lenzen (Abb. 5) war in den 1990er Jahren Objekt der geologischen Erkundung für das Endlager Gorleben, deren Fokus auf der NW- und SE-Randsenke des Salzstocks Rambow lag (u. a. Klinge et al. 2002; Strahl & Zwirner 2002; Köthe et al. 2007). Die in der NW-Randsenke in der Regel über Lauenburger Ton folgenden holsteinzeitlichen Sedimente haben bezüglich vorliegender Pollenanalysen in ungestörter Position eine Tiefenlage zwischen maximal -112 m NHN (GoHy 2112) und minimal -60 m NHN (GoHy 1623/96; Abb. 6). Infolge saalezeitlicher Subrosion auf dem Salzstock Gorleben beträgt die sekundäre Tiefenlage des Holstein dort bis zu -137 m NHN (Appel & Habler 1998). In der Klüß-Gartow-Rinne, über der SE-Randsenke des Salzstocks, liegen die Tiefenniveaus zwischen -52 m NHN (Brk Grs 6/81) und ca. -23 m NHN (Hy Go 1542/1996; Strahl & Zwirner 2002).

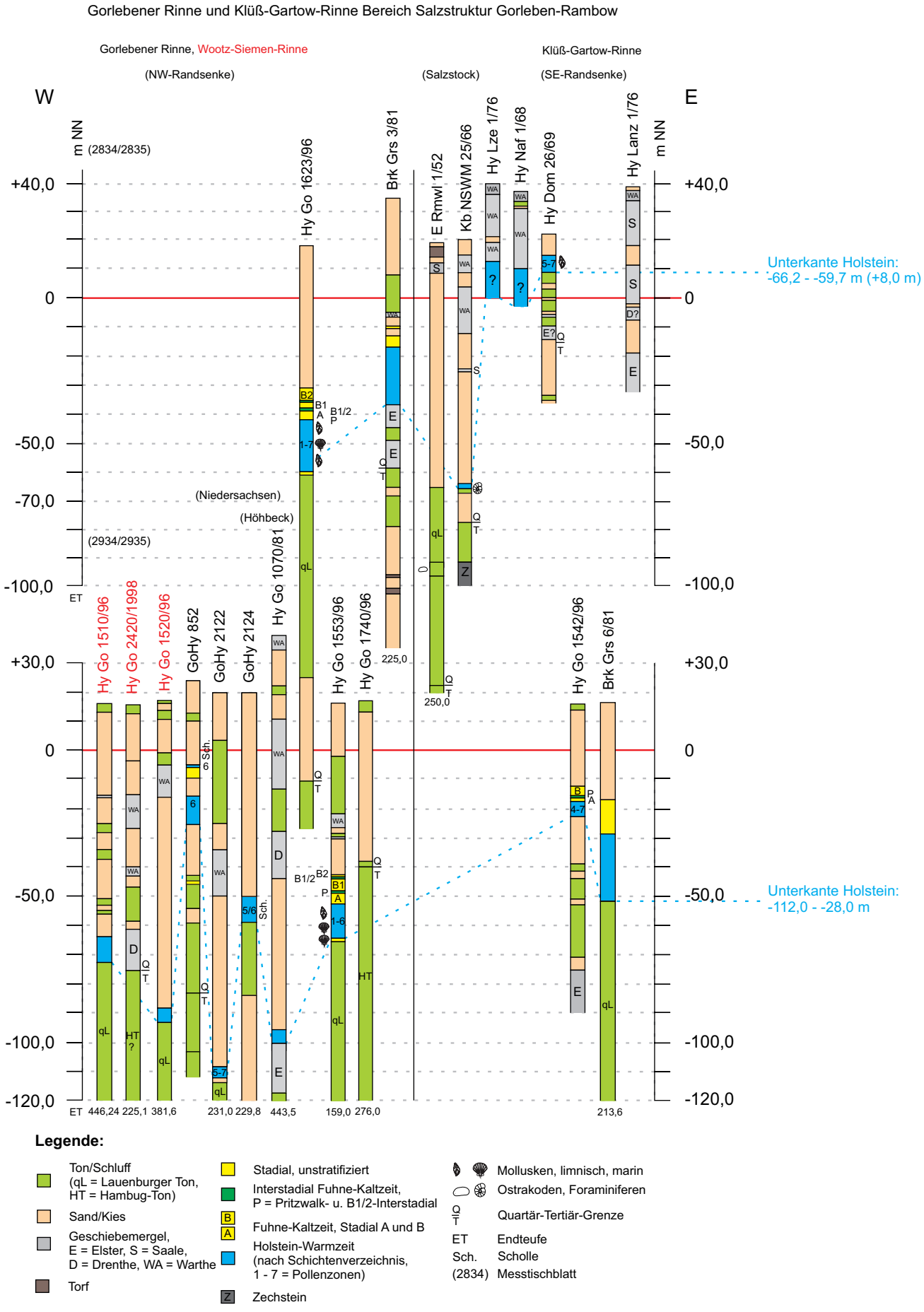
Eine Trennung der holstein- und fuhnezeitlichen Ablagerungen ist nur pollenanalytisch möglich. Daher schwanken die Angaben zu den Mächtigkeiten der holsteinzeitlichen Ablagerungen entsprechend zwischen 2 bis 33 m (Appel & Habler 1998) und 2 bis 22 m (Strahl & Zwirner 2002). Akkumuliert wurden limnische und brackisch-marine,

Abb. 6:
Tiefenlage der Unterkante der holsteinzeitlichen Ablagerungen im Gebiet Dömitz-Lenzen [Daten Niedersachsen: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen (LBEG)]

Fig. 6:
Depth of the lower edge of the Holsteinian deposits in the Dömitz-Lenzen area [Lower Saxony data: Lower Saxony State Office for Mining, Energy and Geology (LBEG)]

teils Vivianit- und Pflanzenreste führende Schluffe, Tone, Mudden und seltener Torfe.

Direkt auf dem Salzstock, im SE der Ortslage Nausdorf, wurde in der Kb NSWM 25/66 zwischen 86,20 und 87,50 m Teufe Vivianit-haltiger Schluff erbohrt. Nach Archivunterlagen erfolgte wegen des Vorkommens von Megasporen des Großen Algenfarns (*Azolla filiculoides*) sowie der im Brackwasser verbreiteten und sommerlich calcifizierenden Foraminiferen *Ammonia batava* und *A. beccarii* (Winn & Erlenkeuser 1998) eine Einstufung als holsteinzeitlich. Die Holstein-Unterkante läge demnach bei -66 m NHN und damit im durchschnittlichen Holstein-Tiefenniveau der NW-Randsenke. Als zumindest interglazial wurde auch mariner


Gorlebener Rinne und Klüß-Gartow-Rinne Bereich Salzstruktur Gorleben-Rambow
Gorlebener Rinne, Wootz-Siemen-Rinne
(NW-Randsenke)
(Salzstock)
Klüß-Gartow-Rinne
(SE-Randsenke)
W
E
m NN
+40,0
0
-50,0
-70,0
-100,0
+30,0
-50,0
-100,0
-120,0
(2834/2835)
(Niedersachsen)
(Höhbeck)
(2934/2935)
ET
Hy Go 1623/96
Brk Grs 3/81
E Rmwl 1/52
Kb NSWM 25/66
Hy Lze 1/76
Hy Naf 1/68
Hy Dom 26/69
Hy Lanz 1/76
Hy Go 1070/81
Hy Go 1510/96
Hy Go 2420/1998
Hy Go 1520/96
GoHy 852
GoHy 2122
GoHy 2124
Hy Go 1553/96
Hy Go 1740/96
Hy Go 1542/96
Brk Grs 6/81
225,0
250,0
ET 446,24 225,1 381,6 231,0 229,8 443,5 159,0 276,0 213,6
Unterkante Holstein:
-66,2 - -59,7 m (+8,0 m)
Unterkante Holstein:
-112,0 - -28,0 m
Legende:
Ton/Schluff
(qL = Lauenburger Ton,
HT = Hambug-Ton)
Sand/Kies
Geschiebemergel,
E = Elster, S = Saale,
D = Drenthe, WA = Warthe
Torf
Stadial, unstratifiziert
Interstadial Fuhne-Kaltzeit,
P = Pritzwalk- u. B1/2-Interstadial
Fuhne-Kaltzeit, Stadial A und B
Holstein-Warmzeit
(nach Schichtenverzeichnis,
1 - 7 = Pollenzonen)
Zechstein
Mollusken, limnisch, marin
Ostrakoden, Foraminiferen
Quartär-Tertiär-Grenze
ET Endteufe
Sch. Scholle
(2834) Messtischblatt

Ton aus der etwa 500 m nordwestlich liegenden E Rmwl 1/52 aufgefasst, der eine nichtspezifizierte Ostrakodenfauna (Wienholz 1957) führt. Das abgeleitete Tiefenniveau liegt bei rund -97 m NHN. Auf die genannte kurze Entfernung würde das einen Tiefenversatz der Holstein-Basis von gut 31 m bedeuten. Eine möglicherweise erklärende, postholsteinzeitliche subrosive Absenkung, wie für die Scheitelbereiche der Salzstöcke Gorleben und Schlieven beschrieben (Appel & Habler 1998; Köthe et al. 2007; von Bülow 2004; Müller & Obst 2008), sollte auszuschließen sein. Zwar sind die über dem Salzstock lagernden miozänen bis paläozänen Ablagerungen erwartungsgemäß gegenüber den Randsenken in der Mächtigkeit stark reduziert (Klinge et al. 2002; Köthe, Weiss & Zwirner 2002; Strahl & Zwirner 2002), doch wurden sie weder präelsterzeitlich abgetragen noch während der Entstehung der Gorlebener Rinne ausgeräumt. Demnach bestand keine Angriffsfläche für eine Auslaugung der unterlagernden Zechsteinsalze. Ebenso wenig ist über dem Salzstock eine atypische Mächtigkeitszunahme der postholsteinzeitlich akkumulierten saalezeitlichen Sedimente zu verzeichnen (von Bülow 2004; Müller & Obst 2008). Zudem konnten Subrosionsvorgänge für die Randsenken des Salzstocks Rambow ausgeschlossen werden (u. a. Klinge et al. 2002; Strahl & Zwirner 2002; Köthe et al. 2007). Auch spricht der Verlauf der Quartärbasis dagegen, die sich der Gorlebener Rinne folgend auf dem Salzstock von -78 m NHN (Kb NSWM 25/66) über -133 m NHN (E Rmwl 1/52) bis auf -171 m NHN in der NW-Randsenke (Hy Go 1623/96) absenkt (Abb. 6). Die Verfüllung mit Lauenburger Schichten (hier Lauenburger Ton) erfolgte bis zum Beginn der Holstein-Warmzeit im ostelbischen Teil der Rinne bis zu einem nahezu einheitlichen Niveau von ± -60 m NHN. Daher scheint eine Korrelation der Tone in der E Rmwl 1/52 mit den Lauenburger Schichten weitaus plausibler als mit den dann in einem zu tiefen Niveau liegenden Ablagerungen der Holstein-Warmzeit. Bestätigt wird diese Deutung durch die Nachbestimmung der oben genannten Ostrakodenfauna aus der E RmwL 1/52 (schrftl. Mitt. Dr. P. Frenzel, Univ. Jena). Danach handelt es sich ausschließlich um *Cytherissa lacustris*, eine vor allem kaltzeitliche Art. Weiterhin spricht nach Frenzel das monospezifische Vorkommen für höchstens interstadiale, wenn nicht sogar glaziale Bedingungen. Ein interglazialer Ablagerungszeitraum kann ausgeschlossen werden.

Die vollständigsten holstein- bis fuhnezeitlichen Sequenzen wurden in der NW-Randsenke mit den Profilen der Bohrungen Hy Go 1623/96 nördlich Eldenburg und Hy Go 1553/96 nordwestlich Lenzen erbohrt (Strahl & Zwirner 2002; Strahl 2023). Über bis zu mehr als 70 m mächtigen Lauenburger Schichten folgen limnische Schluffe und Vivianit-haltige Schluffmudden der frühen Holstein-Warmzeit. Während des warmzeitlichen Klimaoptimums [Pollenzonen (PZ) 3–5a sensu Erd 1973; vgl. auch Strahl 2023] drang aus dem nordwestlich liegenden Unterelbegebiet das Holstein-Meer in das Gebiet NW-Brandenburgs vor. Dabei kamen Mollusken führende brackisch-marine Schluffe und Sande zum Absatz. Insbesondere die an der Herzmuschel *Cerastoderma edule* (syn. *Cardium edule*) reichen Sande sind auf die Gorlebener Rinne beschränkt und wahrscheinlich den in der ehemaligen Grube Pätow südwestlich Hagenow anstehenden *Cardium*-Schluffen zeitlich gleichzusetzen. Diese wurden von v. Bülow (2004) als küstennahe Ablagerungen gedeutet. Die brackisch-marine Fauna umfasst neben *Cerastoderma edule, Mytilus* sp. und *Limecola balthica* (schrftl. Mitt. Dr. S. Meng, Univ. Greifswald) auch erstmals für Brandenburg nachgewiesen, die Darwin´sche Seepocke *Amphibalanus improvisus* (Meng et al. 2024). Diese heute invasive subtropische Art kam nach derzeitigem Untersuchungsstand bis in die südöstliche Prignitz bei Demerthin (Vehlow-Quitzöbel-Rinne; Abb. 2) vor.

Mit dem allmählichen Rückzug des Holstein-Meeres im Übergang zur PZ 5b sensu Erd (1973; vgl. zusf. Strahl 2023; Meng et al. 2024) stellte sich die Sedimentation auf mehr oder weniger Vivianit- und auch Pflanzenreste führende Schluffmudden um. Die Rinnenrestseen begannen wieder auszusüßen. Neben einer beträchtlichen Zunahme der Grünalge *Pediastrum*, vor allem der Arten *P. boryanum*, *P. kawraiskyi* und *P. duplex*, ist auch eine erhebliche Ausbreitung von Süßwassermollusken, insbesondere der Federkiemenschnecke *Valvata piscinalis* (schrftl. Mitt. Dr. S. Meng, Univ. Greifswald) zu beobachten. Die stehende bis langsam fließende, sauerstoffreiche Gewässer bevorzugende Art lebt größtenteils vergraben in Sand oder Schlamm und kann Salzgehalte bis maximal 0,4 % ertragen (Nordsieck auf https://www.weichtiere.at/Schnecken/index.html?/Schnecken/suesswasser/valvatidae.html). Nachweise an *Viviparus diluvianus* (syn. *Paludina diluviana*) bestehen nicht. Die Charakterart der Paludinenschichten findet nach derzeitigem Kenntnisstand ihre nördliche Nachweisgrenze in Brandenburg in der Prignitz-Rinne im Stadtgebiet von Pritzwalk (Abb. 2).

Vergleichsweise wenig ist über den zeitlichen Verlauf der holstein- bis fuhnezeitlichen Sedimentation in der Klüß-Gartow-Rinne im Bereich der SE-Randsenke des Salzstocks Rambow bekannt. Nur die am nordwestlichen Rinnenrand gelegene Bohrung Hy Go 1542/96 (Strahl & Zwirner 2002; Abb. 6) erbrachte eine bei -22,64 m NHN einsetzende, ausschließlich limnische Sequenz mit einem an der Basis ausgebildeten Torf. Sie umfasst den Zeitraum der holsteinzeitlichen PZ 4 bis in das Fuhne-Stadial B sensu Erd (1973).

Unweit des Südufers des Rudower Sees wurden in der Hy Dom 26/69 (Abb. 6, 7) Tone und Schluffe erbohrt, die aufgrund des enthaltenen, aber unbestimmten Molluskenschills als brackisch-marin aufgefasst wurden. Wegen des über 0 m liegenden NHN-Niveaus wurde zudem auf eine durch das Saale-Eis dislozierte und damit als Scholle gedeutete Abfolge geschlossen. Allerdings liefert der in sich ungestörte Schichtverband keinen Hinweis auf eine glazigene Einwirkung: Über miozänen, Mollusken führenden Sanden lagern ein nach Kleingeschiebezählung (KGZ) elsterzeitlicher Geschiebemergel und darüber nach pollenanalytischem Befund (Köhler 1974) an tertiären Umlage-

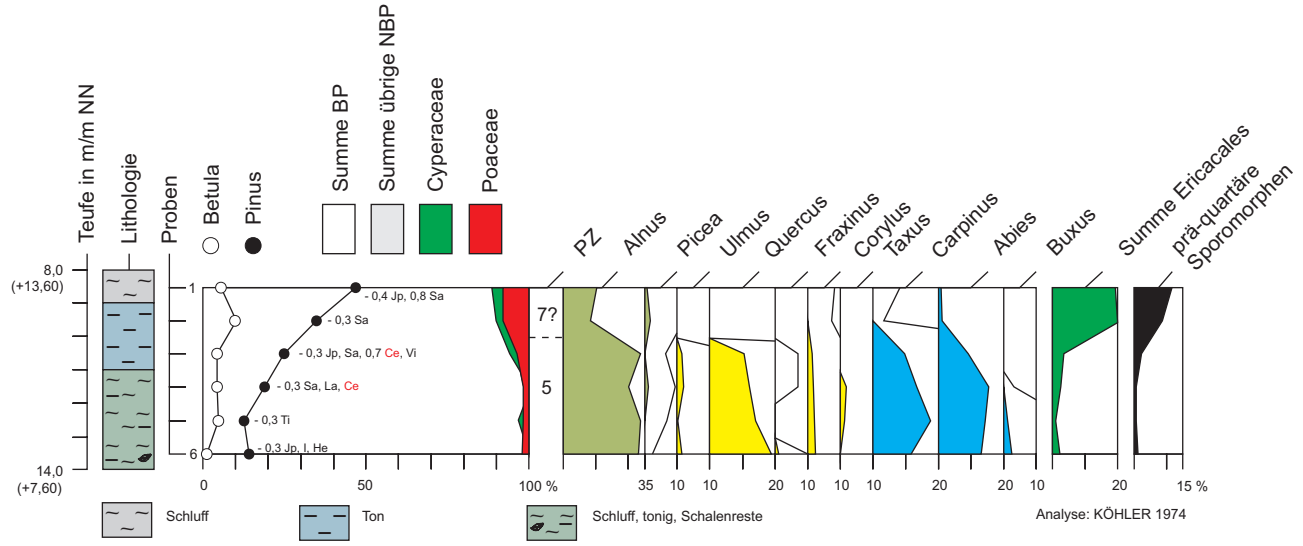


Abb. 7: Pollendiagramm der Bohrung Hy Dömitz 26/69 (Hy Dom 26/69), ausgewählte Taxa, Holstein-Warmzeit
Grundsumme: BP + NBP = (250) 300 = 100 %, ausgenommen: Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Moose, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, prä-quartäre Sporomorphen, BP = Baumpollen, NBP = Nichtbaumpollen, PZ = Pollenzone
Ce – Celtis; He – Hedera; I – Ilex; Jp – Juniperus; La – Larix; Sa – Salix; Ti – Tilia; Vi – Viscum

Fig. 7: Pollen diagram of borehole Hy Dömitz 26/69 (Hy Dom 26/69), selected taxa, Holsteinian Warm Period
Basic sum: BP + NBP = (250) 300 = 100 %, except marsh and water plants, ferns, mosses, algae a. o. microremains, prequaternary sporomorphs, BP = arboreal pollen, NBP = non-arboreal pollen, PZ = pollen zone

rungen reiche glazilimnische Schluffe und Tone. Es folgen holsteinzeitliche Tone und Schluffe, gebildet während der PZ 5 und 7 (Abb. 7) und abschließend warthezeitliche Sande. Nach KGZ warthezeitlicher Till, wie er südlich Nausdorf über ebenfalls zu hoch liegenden und als holsteinzeitlich vermuteten Tonen und Schluffen der Bohrungen Hy Lze 1/76 und Hy Naf 1/68 (Abb. 6) nachgewiesen ist, fehlt. Als Ursache für die sekundäre NHN-Position der holsteinzeitlichen Ablagerungen wird eine halokinetisch bedingte postwarthezeitliche Aufwölbung von kleinräumigen Arealen der SE-Flanke des Salzstocks Rambow vermutet. Sie könnte als Ausgleichsbewegung des Salzstocks nach dem Abschmelzen des aufliegenden Eises erfolgt sein (vgl. Lang & Hampel 2023), wodurch es zu einer Aufschleppung quartärer Schichten aus dem Rinnenrandbereich der Klüß-Gartow-Rinne auf die SE-Flanke kam.

Die größte Tiefenlage mit -52 m NHN erbrachte eine nach dem Sedimentcharakter dem Holstein und der Fuhne-Kaltzeit zugeordnete Sequenz aus der am nördlichen Ortsrand von Gandow, ca. 2 km südwestlich des Salzstocks Rambow abgeteuften Brk Grs 6/81 (Strahl & Zwirner 2002; Abb. 6). Sie folgt über Lauenburger Ton und bis zu -150 m NHN in Untermiozän eingeschnittenen Elster-Geschiebemergel. Die Ausweisung des Lauenburger Tons als solchen ist nicht gesichert, da kein detaillierter Schichtbeschrieb einschließlich etwaiger Fossilnachweise erhalten ist. Insofern lässt sich nicht sagen, inwieweit marine Einflüsse zumindest für das Elster-Spätglazial bestanden haben könnten. Gegebenenfalls hatte die Klüß-Gartow-Rinne bereits zu diesem Zeitpunkt einen so hohen Verfüllungsgrad erreicht, infolgedessen eine Anbindung des verbliebenen Rinnenrestsees an die Ur-Elbe als Zuwegung des Holstein-Meeres nicht mehr bestand. Gegen einen Zustrom mariner Wässer würden auch die unterhalb der holsteinzeitlichen Ablagerungen anstehenden glazilimnischen Beckenbildungen in der Hy Go 1542/1996 sprechen, die explizit nicht als Lauenburger Ton ausgewiesen wurden.

Das im Fazit Fehlen brackisch-mariner Ablagerungen in der SE-Randsenke lässt darauf schließen, dass der Zufluss mariner Wässer maßgeblich über die Gorlebener Rinne und erst ab Nausdorf dann auch über die Klüß-Gartow-Rinne weiter nach NE erfolgte.

Im Übergang in die Fuhne-Kaltzeit bilden in beiden Randsenken des Salzstocks Rambow an organischen Beimengungen verarmende Tone, anfänglich auch Tonmudden sowie in Teilen Vivianit führende Schluffe den Abschluss der Stillwassersedimentation. Postfuhnezeitlich setzte im Gebiet von Dömitz-Lenzen die endgültige Verfüllung verbliebener Rinnenrestbereiche ein. Vermutlich aufgrund glazifluviatiler Ausräumung während der Saale-Kaltzeit fehlen jedoch fluviatile Ablagerungen des Unter-Saale einschließlich der Dömnitz-Warmzeit und des Post-Dömnitz nahezu völlig. Kleinere Areale reinen Fluviatils blieben in der NW-Randsenke nachweislich nur bei Eldenburg (Hy Go 1623/1996) und südöstlich Mödlich auf niedersächsischem Gebiet sowie in der SE-Randsenke westlich Gandow (Hy Go 1542/1996; Abb. 6) erhalten. Hinweise auf Stillwasserablagerungen, die allerdings nicht Gegenstand einer pollenanalytischen Untersuchung waren, sind lediglich in der

Hy Go 1623/1996 mit dem Nachweis von geringmächtigen Schluffen innerhalb des ca. 11 m mächtigen untersaalezeitlichen Fluviatils gegeben.

Es folgen diskordant zunächst glaziafluviatile, hinsichtlich der NW-Randsenke salzstocknah überwiegend drenthezeitlich aufgefasste (Vorschütt-)Sande der Saale-Kaltzeit. Sie erreichen ein Tiefenniveau zwischen etwa -60 bis -40 m NHN, in der SE-Randsenke von maximal -17 m NHN (Abb. 6). Hauptsächlich saalezeitliches Glazifluviatil sorgte auch für den Ausgleich des durch Subrosion über dem Salzstock Gorleben verursachten Volumendefizits – seine Unterkante liegt dort teils tiefer als -100 m NHN.

In der Gorlebener Rinne, hier vornehmlich am südwestlichen Ende der NW-Flanke des Salzstocks Rambow bis etwa nach Klein Wootz reichend, auf dem Salzstock selbst sowie im nordöstlichen Teil der SE-Randsenke sind auch saalezeitliche Geschiebemergel Bestandteil der Rinnenfüllung (Abb. 6). Seltener und nur in der NW-Randsenke nachgewiesen ist Geschiebemergel des Drenthe-Stadiums (= ältere Drenthe in Niedersachsen, SI sensu Cepek 1967) mit einem maximalen Tiefenniveau von -79 m NHN (Hy Go 2420/1998). Auf niedersächsischer Seite sinkt das Tiefenniveau nordwestlich des Höhbeck in der Ortslage Vietze über subrosiv beeinflussten Rinnenbereichen auf bis zu -106 m NHN ab und erreicht hier eine Gesamtmächtigkeit von 37 m (Köthe et al. 2007). In der SE-Randsenke geht ein Einzelnachweis auf eine unsichere KGZ aus der Hy Lanz 1/76 (Abb. 6) zurück, das Tiefenniveau liegt hier bei -8 m NHN.

Deutlich flächenhafter verbreitet ist teilweise mehrbankig ausgebildeter Till des Warthe-Stadiums, der innerhalb der Gorlebener Rinne ein Tiefenniveau zwischen -24 m und -43 m NHN erreichen kann (Hy Go 1553/96, Hy Go 2420/1998; Abb. 6). In der SE-Randsenke liegen die Tiefenniveaus generell über NHN. Indifferent bleiben hier allerdings weitere, aus der Hy Lanz 1/76 vorliegende Geschiebespektren, die keine eindeutige Zuordnung zum Drenthe- oder Warthe-Stadium zulassen. Die elbnahen Bereiche der SE-Randsenke sind frei von saalezeitlichem Geschiebemergel. Den Abschluss der Rinnenfüllung bilden hier meistenteils warthezeitliche glazifluviatile und glazilimnische Nachschüttbildungen, an die sich fluviatile und limnische Ablagerungen der Weichsel-Kaltzeit und des Holozän anschließen.

Weiterhin in Diskussion ist, inwieweit zumindest ein Teil der warthezeitlichen Geschiebemergel nach ihren Kleingeschiebespektren der jüngeren Drenthe Niedersachsens entsprechen könnte (vgl. z. B. Lippstreu et al. 2015). So werden die in gleichem Tiefenniveau liegenden Geschiebemergel der Hy Go 2440/1998 und der Hy Go 1520/1996 auf brandenburgischem Gebiet als Warthe und in der Hy Go 1070/81 wenig nordwestlich des Höhbeck (Abb. 6) als jüngere Drenthe angesprochen. Nach derzeitigem Kenntnisstand kann bezüglich der Kleingeschiebezusammensetzung im Brandenburgischen jedoch nur ein Drenthe-Geschiebemergel ausgehalten werden. Sollten also die tiefenniveaugleichen Geschiebemergel beiderseits der Elbe tatsächlich der Warthe entsprechen, ist die zeitliche Einordnung der am und um den Höhbeck stattgefundenen und bisher der (Jüngeren) Drenthe zugeschriebenen Stauchungen und Schollenbildungen (u. a. Appel & Habler 1998; Klinge et al. 2007) zeitlich zu überdenken.

Die GoHy 852 weist des Weiteren eine im Vergleich zu ihrem engeren Umfeld sehr hoch liegende Quartär-/Tertiär-Grenze bei nur -83 m NHN auf. Als Ursache dieses abweichenden Tiefenniveaus sind, wie an der SE-Flanke des Salzstocks Rambow, auch hier lokal begrenzte Salzaufstiegsbewegungen die Ursache (s. Köthe et al. 2007). Allerdings wird in diesem Fall keine Reaktion auf die Druckentlastung nach dem Austauen des Drenthe-Eises sichtbar. Wahrscheinlicher ist ein Abwandern des Salzes aus von Subrosion betroffenen Rinnenbereichen, die aufgrund des erfolgten Volumenausgleiches eine überproportionale Sedimentauflast elster- und drenthezeitlicher Sedimente zu verzeichnen haben. Erst der postdrenthezeitliche Aufstieg des Salzes führte zur Herausbildung eines entsprechenden Widerlagers für das Warthe-Eis, das letztendlich zu den Stauchungen einschließlich Schollenbildung (vgl. Abb. 6; HyGo 852 und 2114) am Höhbeck führte.

Zwischen Neu Pinnow und der Ziegelei Streesow im Norden sowie Dargardt und Seetz im Süden liegt innerhalb der Klüß-Gartow-Rinne ein weiteres größeres Verbreitungsgebiet holstein- bis fuhnezeitlicher Ablagerungen, das von Krüger (1960) als Neu Pinnow-Garlin-Sarglebener Tonbecken bezeichnet wurde (Abb. 4, 8).

Die Vorkommen sind bereits in der GÜK 100 (Abb. 9) aufgrund ihrer auffällig geringen Tiefenlage zwischen +12 und +37 m NHN (Abb. 8, 10) als wallartige, NNE–SSW-gerichtete Struktur erkennbar (Abb. 9).

Die Basis der angetroffenen Sedimentabfolge bilden elsterzeitlicher Geschiebemergel und Lauenburger Ton über meist sandig ausgebildetem Miozän (Abb. 10). Über dem Lauenburger Ton folgen holsteinzeitliche limnische und brackisch-marine, häufig Pflanzenreste und Vivianit führende Diatomeen- und Schluffmudden. Nicht immer zwischengeschaltet, schließen sich geringmächtige Sande unter holstein- bis fuhnezeitlichen limnischen Schluffen und Tonen an. Die erreichten Mächtigkeiten liegen durchschnittlich zwischen ±20 m und max. 40 m. Die Deckschichten bilden 0,80 bis 6 m mächtige, meistenteils saalezeitliche Sande sowie zwischen 6 bis 24 m mächtige, wohl überwiegend warthezeitlicher Geschiebemergel und -lehm.

Informationen zum Alter und zur Vollständigkeit der holsteinzeitlichen Ablagerungen geben nur wenige Pollenanalysen sowie mikro- und makropaläontologische Untersuchungen auf Diatomeen, Foraminiferen, Ostrakoden und Mollusken (zusf. Rusbühlt 1960). Sie zeigen in der Zusammenschau, dass die Ablagerungen der Holstein-Warmzeit auch in diesem Gebiet mehr oder weniger vollständig erhalten sind (= PZ 1–7 sensu Erd 1973; vgl. Strahl 2023). Zwar überstreichen die Pollenanalysen nur den Zeitraum

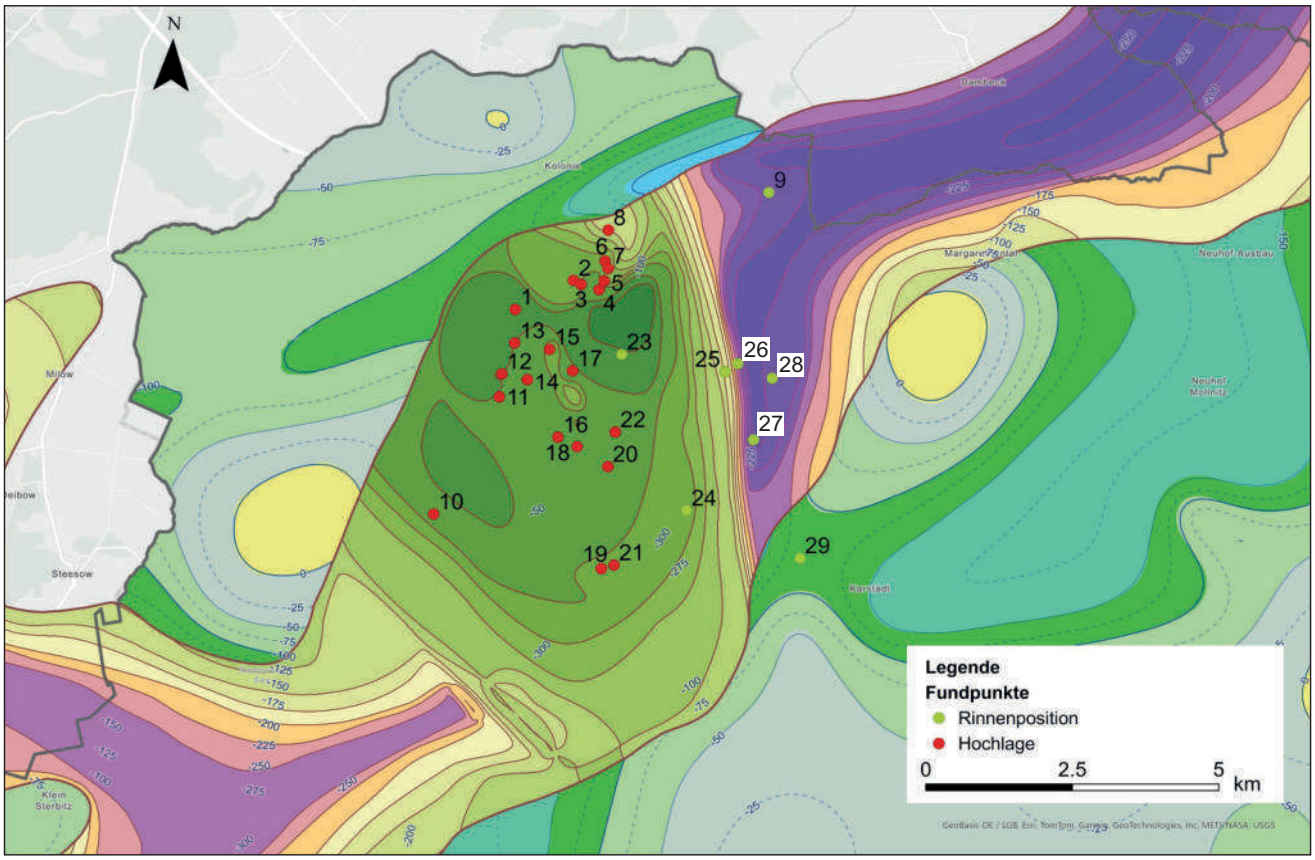


Abb. 8: Holstein- und fuhnzeitliche Ablagerungen im Gebiet Streesow-Sargleben-Dargardt-Garlin mit den in der Abb. 10 aufgeführten Bohrungen [Daten Niedersachsen: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen (LBEG)]; Legenden vgl. Abb. 1 und 2
1 – T PeGa 29/55; 2 – Hy Ssw 19/2003; 3 – T Ssw 17/2003; 4 – T Ssw 4/2003; 5 – Hy Ssw 10/2003; 6 – Hy Ssw 6/2003; 7 – Hy Ssw 3/2003; 8 – Hy KdPe 156/89; 9 – Hy KdPe 167/89; 10 – Hy Grl 1/81; 11 – Hy RmwL 2/63; 12 – T PeGa 127/57; 13 – T PeGa 44/56; 14 – T PeGa 107/57; 15 – Kb NSWM 27/66; 16 – Hy MSB 5117/1997; 17 – T PeGa 1/59; 18 – Ig MSB 5142/1997; 19 – T PeDa 18/59; 20 – Ig MSB 5143/1997; 21 – T PeDa 19/59; 22 – Hy Grl 1/70; 23 – Hy KdPe 165/89; 24 – Hy KdPe 162/89; 25 – Hy Grl 2/71; 26 – Hy Grl 3/81; 27 – Hy KdPe 164/89; 28 – Hy KdPe 161/89; 29 – Hy KdPe 1E2/78

Fig. 8: Holsteinian and Fuhne cold period deposits in the Streesow-Sargleben-Dargardt-Garlin area with the boreholes shown in Fig. 10 [Lower Saxony data: Lower Saxony State Office for Mining, Energy and Geology (LBEG)]; see Fig. 1 and 2 for legends

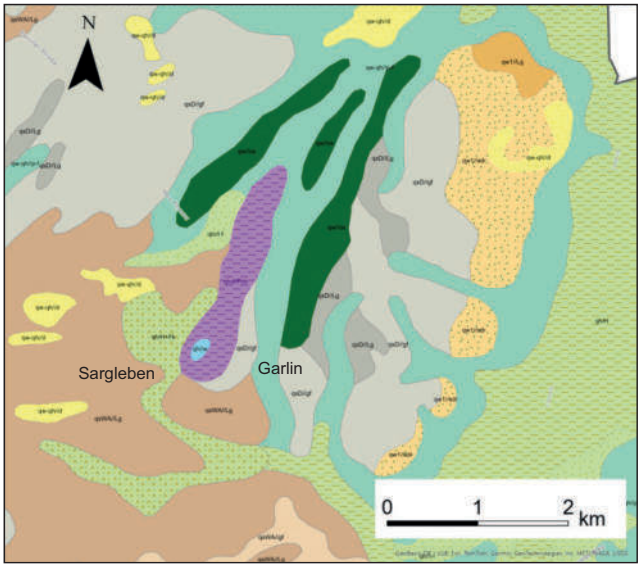


Abb. 9:
Das holstein- bis fuhnezeitliche Tonvorkommen von Streesow-Sargleben-Dargardt-Garlin auf der GÜK 100; Legende vgl. Geoportal des LBGR (https://geo.brandenburg.de/?page=Geologie)

Fig. 9:
The Holsteinian to Fuhne cold period clay deposit of Streesow-Sargleben-Dargardt-Garlin on the Geological overview map (GÜK) 100; for legend see the LBGR geoportal (https://geo.brandenburg.de/?page=Geologie)

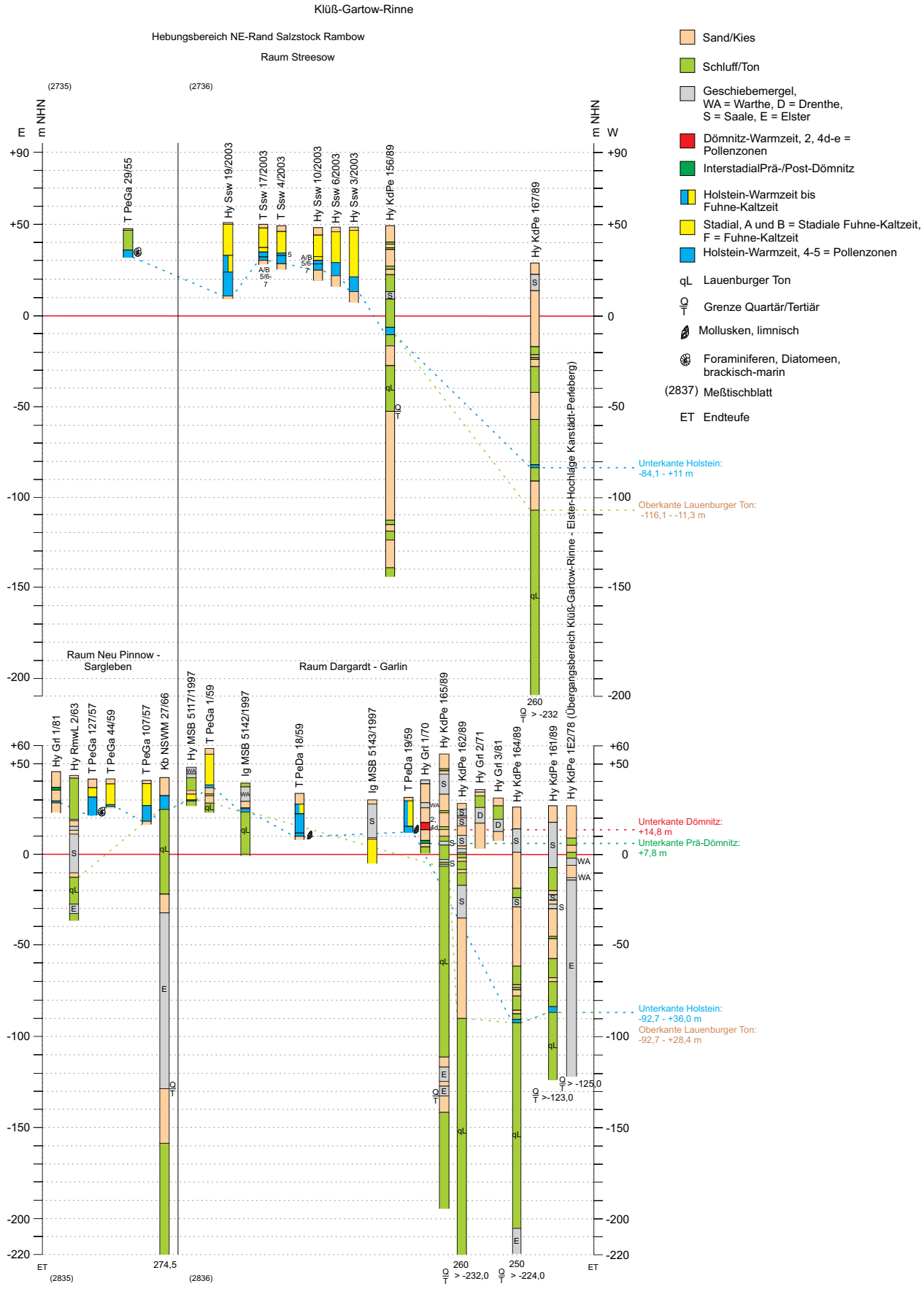


Abb. 10: Tiefenlage der Unterkante der holsteinzeitlichen Ablagerungen im Gebiet Streesow-Sargleben-Garlin-Dargardt
Fig. 10: Depth of the lower edge of the Holsteinian deposits in the Streesow-Sargleben-Garlin-Dargardt area

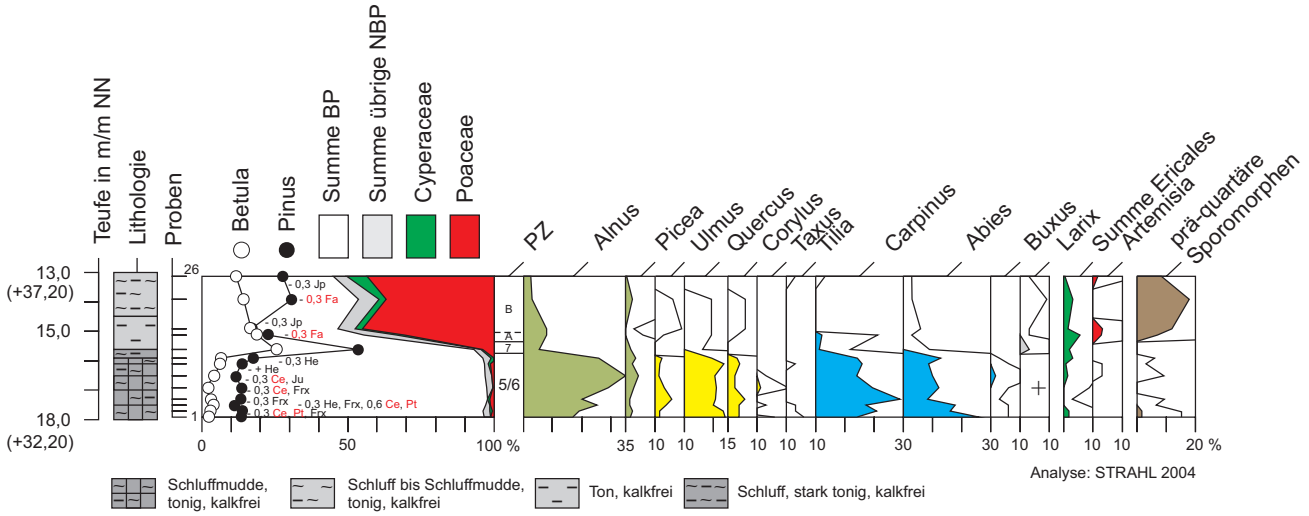


Abb. 11: Pollendiagramm der Bohrung T Ssw 17/03 (T Ssw 17/2003), ausgewählte Taxa, Holstein-Warmzeit und Fuhne-Kaltzeit
Grundsumme: BP + NBP = ca. 335 = 100 %, ausgenommen: Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Moose, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, prä-quartäre Sporomorphen, + = außerhalb der Grundsumme, BP = Baumpollen, NBP = Nichtbaumpollen, PZ = Pollenzone, A = Stadial A, B = Stadial B Fuhne-Kaltzeit
Ce – Celtis; Fa – Fagus; Frx – Fraxinus; He – Hedera; Jp – Juniperus; Ju – Juglans; Pt – Pterocarya

Fig. 11: Pollen diagram of borehole T Ssw 17/03 (T Ssw 17/2003), selected taxa, Holsteinian and Fuhne cold period
Basic sum: BP + NBP = approximately 335 = 100 %, except marsh and water plants, ferns, mosses, algae a. o. microremains, prequaternary sporomorphs, + = outside the basic sum, BP = arboreal pollen, NBP = non-arboreal pollen, PZ = pollen zone, A = Stadial A, B = Stadial B Fuhne cold period

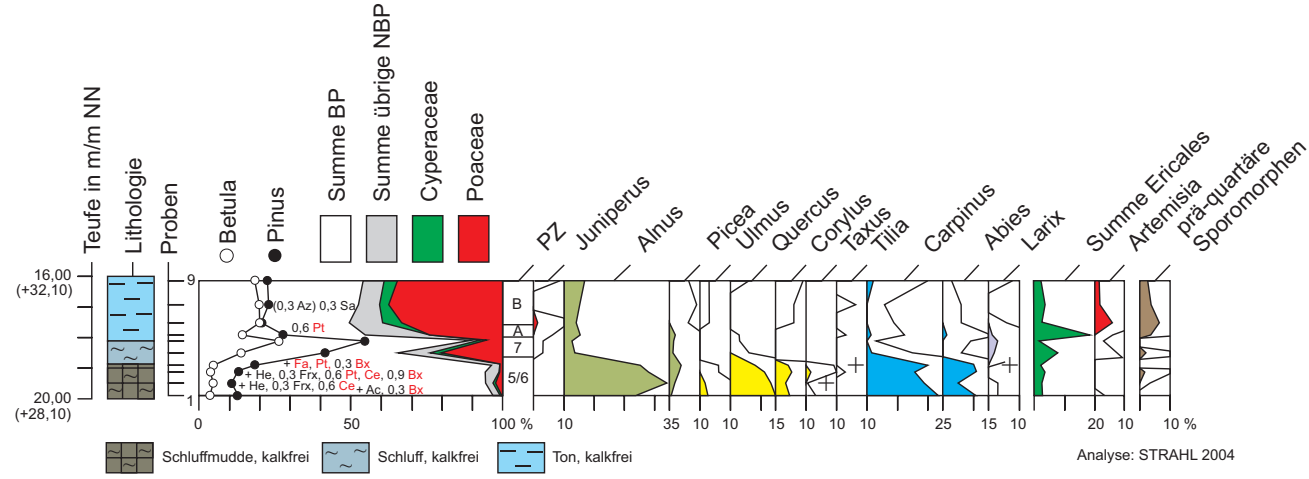


Abb. 12: Pollendiagramm der Bohrung Hy Ssw 10/03 (Hy Ssw 10/2003), ausgewählte Taxa, Holstein-Warmzeit und Fuhne-Kaltzeit
Grundsumme: BP + NBP = ca. 335 = 100 %, ausgenommen: Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Moose, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, prä-quartäre Sporomorphen, + = außerhalb der Grundsumme, BP = Baumpollen, NBP = Nichtbaumpollen, PZ = Pollenzone, A = Stadial A, B = Stadial B Fuhne-Kaltzeit
Ac – Acer; Az – Azolla; Bx – Buxus; Ce – Celtis; Fa – Fagus; Frx – Fraxinus; He – Hedera; Pt – Pterocarya; Sa – Salix

Fig. 12: Pollen diagram of borehole T Ssw 10/03 (T Ssw 10/2003), selected taxa, Holsteinian and Fuhne cold period
Basic sum: BP + NBP = approximately 335 = 100 %, except marsh and water plants, ferns, mosses, algae a. o. microremains, prequaternary sporomorphs, + = outside the basic sum, BP = arboreal pollen, NBP = non-arboreal pollen, PZ = pollen zone, A = Stadial A, B = Stadial B Fuhne cold period

nach der marinen Transgression (PZ 5b–7 sensu Erd 1973) bis in die Fuhne-Kaltzeit (Abb. 11, 12), doch belegen die nachgewiesenen Mikrofloren und -faunen mit dem Wechsel von limnischen (PZ 1–3a) zu brackisch-marinen (PZ 3b–5a) zu erneut limnischen Verhältnissen (PZ 5b–7) die Ausbildung einer kompletten Holstein-Sequenz.

Aus lagerstättengeologischer Sicht von Bedeutung sind vor allem die fuhnezeitlichen Tone (nicht wie häufig angeführt spätelsterzeitlicher Lauenburger Ton, vgl. u. a. von Bülow 2004) mit dem sogenannten 1–4 m mächtigen fuhnezeitlichen Basiston (Weisse 2004). Die Abbaue Streesow, Sargleben und Dargardt und deren Umfeld waren insbesondere in den 1950er und 1960er und nochmals in den 2000er Jahren Gegenstand der Tonerkundung. Die Gewinnung der Tone erfolgte unter anderem für die inzwischen wieder aufgenommene Dachziegelproduktion im Karstädter Dachziegelwerk Braas (rbb24 vom 29.01.2024).

Die erreichte Datendichte hinsichtlich der horizontalen Erstreckung der Tonvorkommen wurde 1997 durch die Erkundungsprofile der zwischen den Abbauen in NW–SE-Richtung hindurchlaufenden Magnetschnellbahntrasse Berlin-Hamburg wesentlich erweitert; vgl. Abb. 10). Doch lagen nur sehr wenige Informationen zur tatsächlichen Mächtigkeit des Lagerstättenkörpers vor, da die Erkundungsbohrungen wegen der Ausrichtung auf die rohstoffwürdigen Fuhne-Tone meist auf eine Endteufe von 10 bis 15 m begrenzt blieben. Erst 2003, während der Nacherkundungen im und um den Abbau Streesow, wurden diese durch den Ausbau tieferreichender Grundwassermessstellen ergänzt. Deren Profile wiesen eine Gesamtmächtigkeit der holstein- (blau) und fuhnezeitlichen Ablagerungen (gelb) von bis zu 40 m (z. B. Hy Ssw 19/2003, Hy Ssw 3/2003; Abb. 10) auf.

Der Nachweis insbesondere mariner Bildungen belegt, dass ihr ermitteltes geringes Tiefenniveau ein weiter nach NE gerichtetes Einströmen mariner Wässer in die Klüß-Gartow-Rinne nicht zugelassen hätte, also sekundär sein muss. Die heutige Tiefenlage der holstein- und fuhnezeitlichen Ablagerungen wurde mehrfach auf glazigene Einflüsse, wie Stauchungen und Aufschuppungen während der Saale-Vereisung zurückgeführt (Krüger 1960; von Bülow 2004; Sonntag 2008), wobei die höchste glazigene Wirksamkeit dem Warthe-Eis zugeschrieben wird (vgl. u. a. Lippstreu 2015). Tatsächlich zeigen besonders Profile östlich des Tagebaus Streesow und an dessen Südstoß glazigene Deformationen infolge Eisüberfahrung (Krüger 1960; Weisse 2004), die sowohl drenthe- (Osten) als auch warthezeitlichen (Süden) Alters sein können. Dazu zählen beispielsweise steilgestellte Sandlager, oberflächennah verschleppte Ton- und Schluffpakete und in Eisvorstoßrichtung verschmierte Vivianiteinlagerungen. Doch sind diese Deformationen nur oberflächlich und greifen nicht in den kompletten Lagerstättenkörper ein. Dies zeigen auch die Kb NSWM 27/66 nordöstlich Sargleben, welche als einzige Bohrung im Gebiet die Quartärbasis bei -127,4 m NHN durchteufte. Vier weitere Bohrungen im Bereich der Hochlage erreichten mit dem Lauenburger Ton zumindest das Liegende der holsteinzeitlichen Ablagerungen (Hy Rmwl 2/63, T PeGa 1/59, Ig MSB 5142/1997, Hy KdPe 165/89; Abb. 10). Demnach folgen hier wie auch im zentralen Abbaufeld des Tagebaus Streesow über Elster-Geschiebemergel und Lauenburger Ton holstein- und fuhnezeitliche Ablagerungen in ungestörter Abfolge. Hinweise auf Stauchungsvorgänge, wie vergleichbar am Höhbeck oder weiter östlich in den Ruhner Bergen mit ihrer weichselzeitlich nochmals überprägten Stauchendmoräne, finden sich auch in den aktuellen geologischen Kartenwerken nicht. Von max. +36 zu -96 m NHN immens ist hingegen der Tiefenversatz der Holstein-Unterkante im Vergleich zu Profilen in normaler Rinnenposition östlich der Tonlager von Streesow und Dargardt-Garlin (Hy KdPe 167, 164 und 161/89; Abb. 10). Das entspricht einer Differenz von 129 m. Dieser Tiefenversatz bildet sich auch für die Oberkante des Lauenburger Tons mit wenigstens 121 m ab. Die Tiefenreichweite der Saale-Unterkante, nach vorliegenden KGZ meistenteils Geschiebemergel des Warthe-Stadiums (u. a. Hy MSB 5117/1997, Ig MSB 5142/1997, Hy Grl 1/70, Hy KdPe 1E2/78; Abb. 10), beträgt innerhalb der östlich und südöstlich anschließenden Rinnenbereiche lediglich -29 bis -45 m NHN. Die Mächtigkeiten der Geschiebemergel und glazifluviatilen Zwischenmittel können hier bis zu 60 m (KdPe 162/89; Abb. 10) erreichen. Hin zum zentralen Hochlagenbereich dünnen hochglaziale Ablagerungen der Saale hingegen stark aus bzw. fehlen gänzlich. Ein derartig tiefreichendes Eingreifen des Saale-Eises in die holstein- und fuhnezeitlichen Sedimente sollte damit wohl eher ausgeschlossen sein. Weisse (2004) vermutet hingegen Aufstiegsbewegungen im südlichen Flankenbereich des Salzstocks Werle (Abb. 13), die zu einer Anhebung des über dem Zechstein folgenden tertiären und quartären Deckgebirges führten. Die zur Überprüfung dieser These herangezogenen reflexionsseismischen Untersuchungen (Reinhardt 1967; Giersch & Küstermann et al. 1989) lieferten jedoch hinsichtlich der zu betrachtenden Horizonte T0 und T1 (= Diskordanzfläche Pleistozän/Transgressionsfläche Känozoikum) keine Erkenntnisse dazu. Auch erfolgt im Bereich der Hochlage der Anstieg der Quartärbasis von -127,4 (Kb NSWM 27/66) auf -53,8 m NHN (Hy KdPe 156/89; Abb. 10) in Richtung NE und damit in falschem Winkel zur Salzstruktur Werle. Vielmehr scheint es demnach an zwischen den Salzstöcken Werle und Rambow vorhandenen Störungszonen zu einem vom Salzstock Rambow ausgehenden, nach NE ausgerichteten Druckaufbau gekommen zu sein. Dieser führte zu einer Einengung und letztendlich flexurartigen Aufwölbung der tertiären und quartären Schichten (Abb. 13).

Der Zeitraum dieser Aufstiegsbewegungen lässt sich aus dem am östlichen Flankenbereich der Tonvorkommen bei Garlin befindlichen Profil der Hy Grl 1/70 (Abb. 8, 10) ableiten. Nach der Verfüllung der Klüß-Gartow-Rinne kam es in dem von der Anhebung unbeeinflusst gebliebenen Gebiet wie im südöstlich anschließenden Rinnenzwischengebiet zwischen Karstädt und Perleberg durch die fortlaufende Schüttung untersaalezeitlichen Fluviatils zum Reliefausgleich. In dessen Ablagerungen eingebettet sind Stillwassersedimente der Dömnitz-Warmzeit und des Post-Dömnitz. Davon erhalten

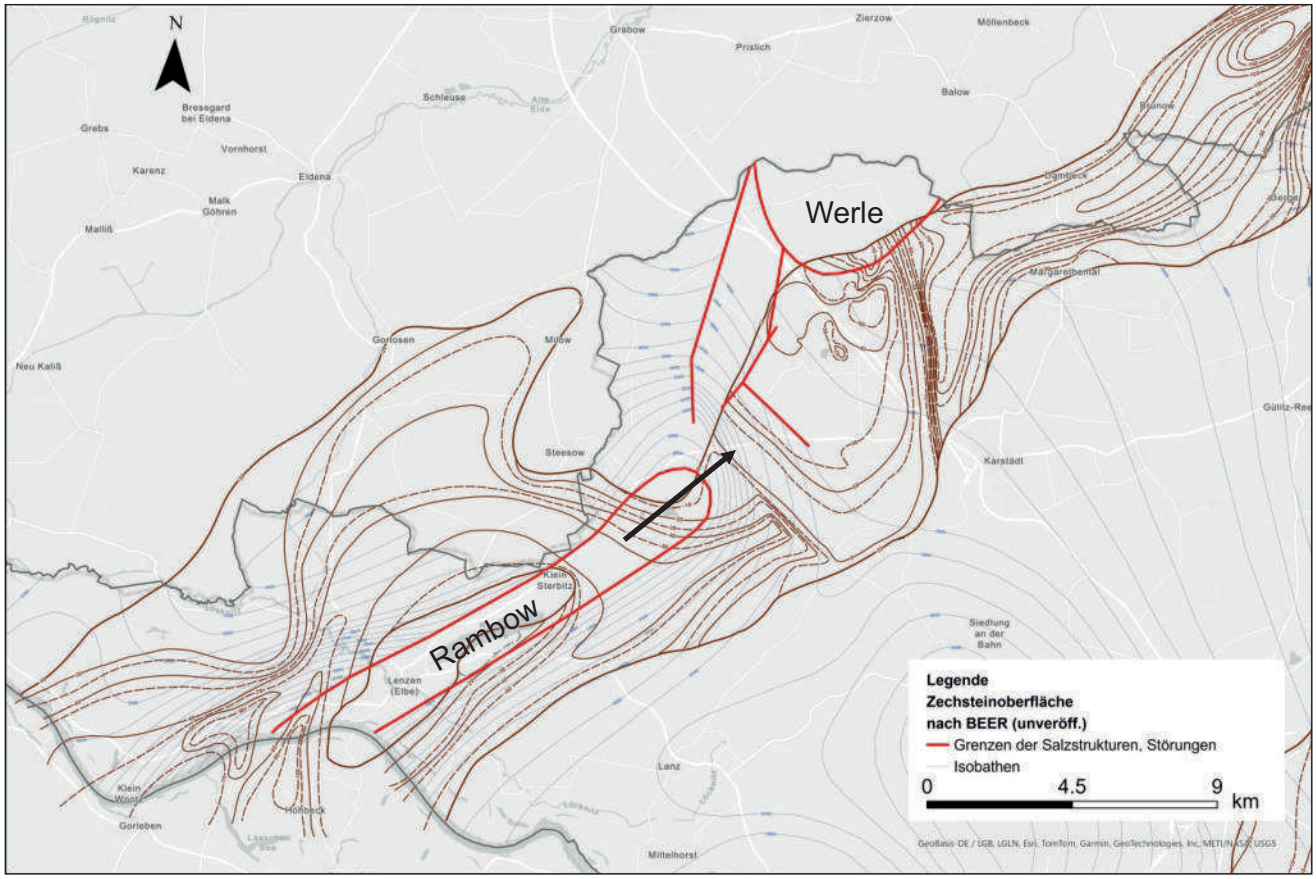


Abb. 13: Karte der Zechsteinoberfläche mit den Salzstrukturen Rambow und Werle und Tiefenlage der Unterkante der holsteinzeitlichen Ablagerungen in der Klüß-Gartow-Rinne

Fig. 13: Map of the Zechstein surface with the Rambow and Werle salt structures and depth of the lower edge of the Holsteinian deposits in the Klüß-Gartow channel

geblieben ist jedoch nur das kleinräumige, heute vom Hochlagenbereich Karstädt-Perleberg abgetrennte Areal bei Garlin. Zur Separierung führte letztendlich die innerhalb und beidseits der Klüß-Gartow-Rinne erfolgte spätere Ausräumung der fluviatilen Sedimente einschließlich der Stillwasserbildungen durch drenthezeitliches Glazifluviatil (vgl. benachbarte Hy Grl 2/71 und Hy Grl 3/81 mit nach KGZ Drenthe-Till über Glazifluviatil; Abb. 10). Beide Gebiete zeigen nichtsdestotrotz ein konsistentes Tiefenniveau der dömnitzzeitlichen Ablagerungen zwischen ca. + 15 bis +20 m NHN, das allerdings auch mehr oder weniger dem Holstein-Tiefenniveau im Gebiet Dargardt-Garlin (Abb. 10) entspricht. Insofern wurden die Ablagerungen der Hy Grl 1/70 ursprünglich ebenfalls als holsteinzeitlich aufgefasst. Der dazu nicht eindeutige Pollenbefund von Köhler (1975) resultierte aus dem Umstand, dass die Endphase der Dömnitz-Warmzeit mit der PZ 4d (Strahl 2023; Abb. 14) noch unbekannt war. Das Typusprofil Pritzwalk (Erd 1973) ist im altersgleichen Abschnitt gekappt und bot damit keine dementsprechende Korrelationsmöglichkeit mit der Dömnitz-Warmzeit und der auf sie folgenden Stadial-Interstadial-Folge (vgl. Strahl 2023). Aufgrund der Neueinstufung ist die Aufwölbung des holstein- bis fuhnezeitlichen Schichtverbandes nunmehr auf den Zeitraum post-Fuhne bis Prä-Dömnitz eingrenzbar.

Verhältnismäßig gering ist der Kenntnisstand zu Mächtigkeit und Charakter der holstein- bis fuhnezeitlichen Abfolgen im nach NE anschließenden dritten Abschnitt der Klüß-Gartow-Rinne zwischen Dallmin und Drefahl (Abb. 4, 15). Er generiert sich hier vor allem aus der bei Drefahl (Mecklenburg-Vorpommern) erbohrten und einschließlich Fossilnachweisen und KGZ gut untersuchten Schichtenfolge der Kb SM 4/66 sowie aus Bohrungen der Hydrobohrprogramme Karstädt-Perleberg 1989 und Dallmin 1991/1992 (Abb. 16a, b). Östlich der Tonvorkommen von Streesow und Garlin ist die genaue Tiefenlage der Quartärbasis (Abb. 17) unbekannt, da keine der dort niedergebrachten Bohrungen die elsterkaltzeitlichen Ablagerungen durchteufte. So wurden die Hy KdPe 164/89 und 167/89 (Abb. 10) bei -224 m in Elster-Geschiebemergel bzw. bei -232 m NHN in Lauenburger Ton eingestellt. Im Raum Dallmin liegt die Quartärbasis, schon im Anstieg zum östlich anschließenden Rinnenzwischengebiet Karstädt-Perleberg, zwischen -80 und nahezu -100 m NHN (Abb. 16b, 17). Im Rinnenzwischengebiet wurde die Elster-Unterkante in der Ortslage Dallmin bei ca. -21 m NHN angetroffen (Gts Dlm 1/2012, Abb. 16b, 17). Ihren tiefsten Punkt erreicht sie in der Kb SM 4/66 bei ca. -379 m NHN (Abb. 16a, 17).

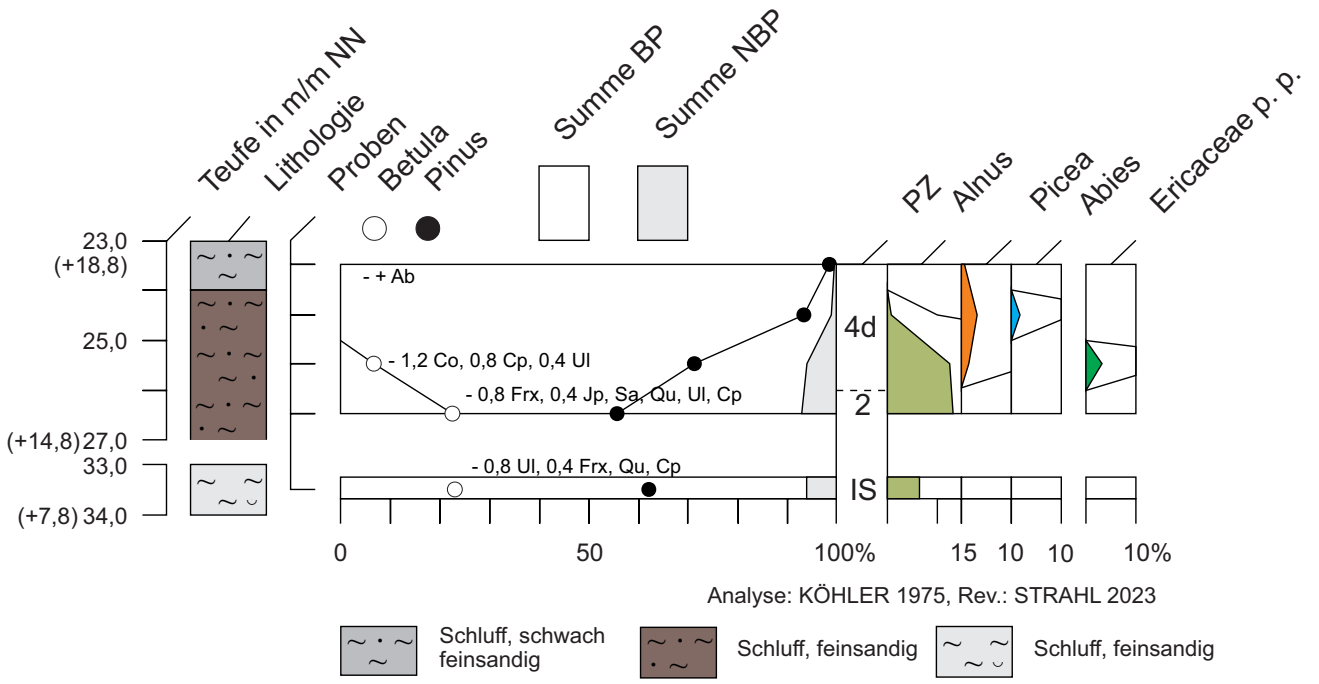


Abb. 14: Pollendiagramm der Bohrung Hy Garlin 1/70 (Hy Grl 1/70), ausgewählte Taxa, Interstadial, prä-Dömnitz-zeitlich und Dömnitz-Warmzeit
Grundsumme: BP + NBP = 250 = 100 %, ausgenommen: Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Moose, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, prä-quartäre Sporomorphen, BP = Baumpollen, NBP = Nichtbaumpollen, PZ = Pollenzone, IS = Interstadial Prä-Dömnitz
Ab – Abies; Co – Corylus; Cp – Carpinus; Frx – Fraxinus; Jp – Juniperus; Qu – Quercus; Sa – Salix; Ul – Ulmus

Fig. 14: Pollen diagram of borehole Hy Garlin 1/70 (Hy Grl 1/70), selected taxa, Interstadial, pre-Dömnitz period, and Dömnitz warm period
Basic sum: BP + NBP = 250 = 100 %, except marsh and water plants, ferns, mosses, algae a. o. microremains, prequaternary sporomorphs, BP = arboreal pollen, NBP = non-arboreal pollen, PZ = pollen zone, IS = Interstadial pre-Dömnitz period

Die Rinnenfüllung, meist über sandigem Miozän, besteht auch hier aus nur lokal erbohrtem Elster-Geschiebemergel und seinen schluffigen bis sandigen Zwischenmitteln mit einer Gesamtmächtigkeit von maximal 167 m (Kb SM 4/66). Darüber folgt Lauenburger Ton mit Mächtigkeiten zwischen 40 und 141 m (Abb. 16a, b). Sowohl in der Kb SM 4/66 als auch in der Hy Dlm 109/1992 wurden innerhalb des Lauenburger Tons Foraminiferenfaunen gleicher Zusammensetzung nachgewiesen (Pipping in von Bülow 2004; Aktennotiz Rusbült 1992). Typisch sind marine *Elphidien*-Gemeinschaften, in denen *Elphidium excavatum*, *E. incertum* und *E. orbiculare*, hin und wieder vergesellschaftet mit *Nonion depressulum*, am häufigsten sind. Sie sind in dieser Form auch aus der in der Prignitz-Rinne abgeteuften Kb NSWM 31/66 (Pipping 1967 in von Bülow 2004) und insbesondere auch aus der südöstlich Güstrow gelegenen Hy Güstrow 4/77 (Rusbühlt in Müller 2002) beschrieben.

Die vermutete Holstein-Unterkante liegt in der Bohrung Hy Dlm 109/1992 bei -96,1 m NHN (Abb. 16a) am tiefsten und steigt zum südlichen Rinnenrand bis auf -26,6 m NHN an (Hy Dlm 101/1991; Abb. 16b). Die aus holstein- und sehr wahrscheinlich auch fuhnezeitlichen Sedimenten bestehende Sequenz der Kb SM 4/66 wird durch Vivianit führende Schluffe (Fuhne-Kaltzeit?), Molluskenschalen enthaltende Sande (Fuhne-Kaltzeit u./o. Holstein-Warmzeit?) sowie Schluffe der Holstein-Warmzeit gebildet. In den Schluffen wurden *Azolla filiculoides* sowie *Pisidium* sp., *Sphaerium* sp. und *Bithynia* sp. nachgewiesen. Für die übrigen Bohrungen belaufen sich die als holsteinzeitlich aufgefassten Ablagerungen auf nicht näher differenzierte „Schluffe, kohlehaltig“. Eine sichere Abgrenzung von der Fuhne-Kaltzeit ist wegen fehlender Pollenanalysen auch hier nicht möglich. Eine Zugehörigkeit der über den ausgehaltenen Holstein-Horizonten folgenden Schluffe und Sande, soweit nicht zum Glazifluviatil der Saale-Kaltzeit gehörend, ist lediglich zu vermuten. Die maximal erreichten Gesamtmächtigkeiten liegen bei mehr als 20 m.

Nur westlich Berge wurden prä- bis postdömnitzzeitliche Ablagerungen noch knapp in Rinnenniveau unterhalb 0 m NHN nachgewiesen (Hy Hül /65 und Hy BePe 2/83; Abb. 16a, 17). Die aufgrund organischer Beimengungen und ihrer Kalkfreiheit als solche identifizierten limnischen Bildungen liegen ansonsten ausschließlich über bereits verschütteten Rinnenbereichen in und um die Orte Brunow und Berge sowie in und um Dallmin auf dem elsterzeitlichen Hochla-

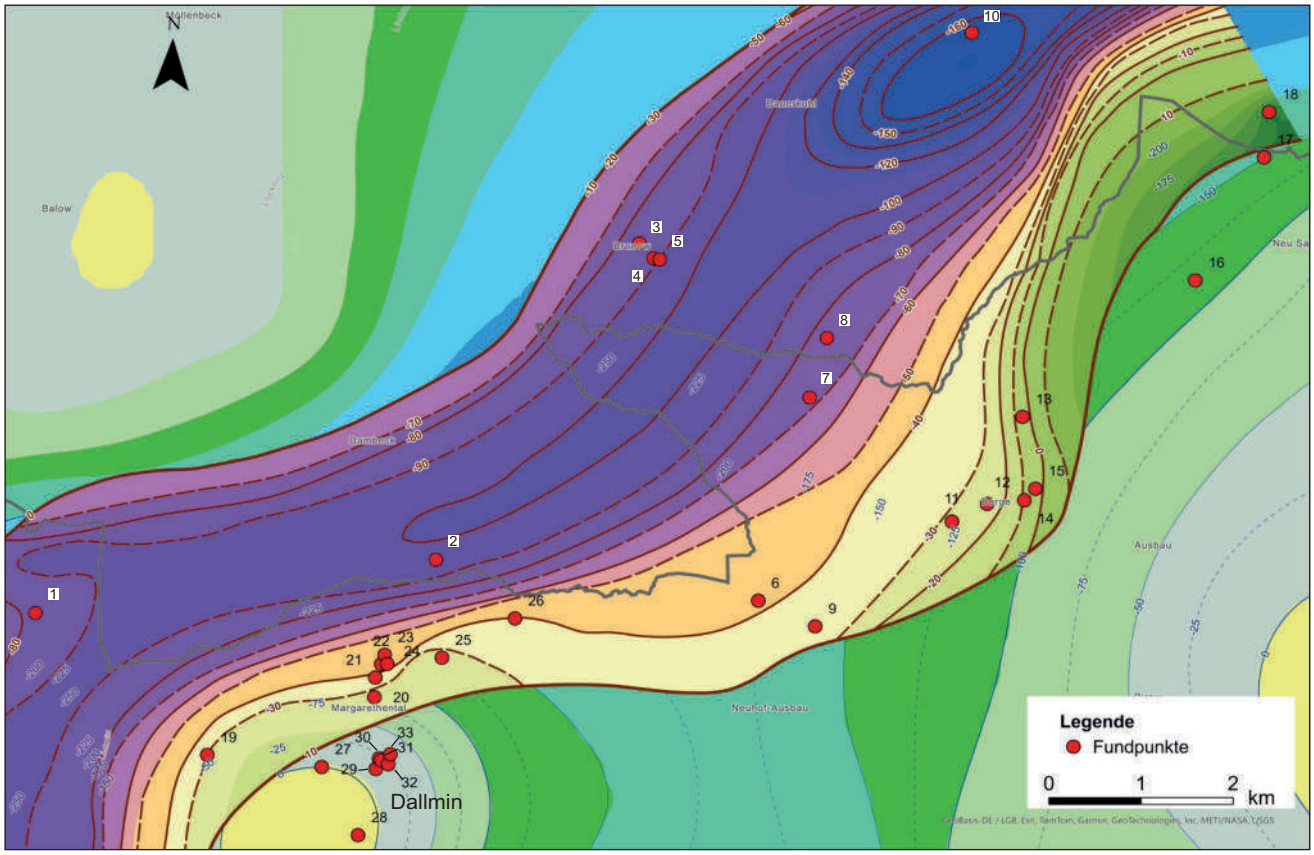


Abb. 15: Holstein- und fuhnezeitliche Ablagerungen im Gebiet Dallmin-Drefahl mit den in der Abbildung 16a und b aufgeführten Bohrungen [Daten Mecklenburg-Vorpommern: Landesamt für Umwelt, Natur und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG)]; Legende vgl. Abb. 1 und 2
1 – Hy KdPe 167/89; 2 – Hy Dlm 109/1992; 3 – Hy BnoPe 6/67; 4 – Hy BnoPe 1/67; 5 – Hy BnoPe 5/67; 6 – Hy NePe 1/66; 7 – Hy Hül /65; 8 – Hy Hül /61; 9 – Hy BePe 2/83; 10 – Kb SM 4/66; 11 – Gts BePe 1/2007; 12 – Gts BePe 1/2012; 13 – Hy BePe 1/82; 14 – Hy BePe 1/87; 15 – Hy BePe 10/74; 16 – Hy BePe 10/77; 17 – Hy Gnh 2/69; 18 – T Gnh 32/77; 19 – Hy KdPe 166/89; 20 – Hy Dlm 19/74; 21 – Hy Dlm 17/74; 22 – Hy Dlm 111/1992; 23 – Hy Dlm 105/1991; 24 – Hy Dlm 107/1992; 25 – Hy Dlm 101/1991; 26 – Hy Dlm 106/1991; 27 – Hy Dlm 14/73; 28 – Gts Dlm 1/2021; 29 – Hy Dlm 2/77; 30 – Hy Dlm 3/77; 31 – Hy Dlm 1/81; 32 – Hy Dlm 2/65; 33 – Hy Dlm 2/76

Fig. 15: Holsteinian and Fuhne cold period deposits in the Dallmin-Drefahl area with the boreholes listed in Figures 16a and b [Data for Mecklenburg-Western Pomerania: State Office for the Environment, Nature, and Geology of Mecklenburg-Western Pomerania (LUNG)]; see Fig. 1 and 2 for legends

genbereich im Rinnenzwischengebiet Perleberg-Karstädt (Abb. 16b, 17). Zwischen diesen Clustern ist das saalezeitliche Fluviatil wie im Raum Garlin ebenfalls durch vermutlich drenthezeitliches Glazifluviatil assimiliert worden.

Den Abschluss der Sequenzen bilden hauptsächlich saalezeitliche Geschiebemergel, die hinsichtlich eines durch KGZ gesicherten drenthezeitlichen Alters, deutlich über Rinnenniveau (Abb. 10, 16a) bzw. nur wenig unter NHN rinnenrandlich lagern (Abb. 16b). Die aus den Bohrungen Kb SM 4/66 (Abb. 16a) und Hy KdPe 1E2/78 (Abb. 10) vorliegenden KGZ lassen, der Einstufung nach Lithofazieskarte Quartär widersprechend, auf ein warthezeitliches Alter der hier zwischen -9 und -18 m NHN in Rinnenposition befindlichen Moränen schließen. Der Geschiebemergel des Drenthe-Stadiums ist demnach in seiner Verbreitung heute hauptsächlich auf bereits verschüttete bzw. randliche Rinnenbereiche und das Rinnenzwischengebiet im Raum Dallmin-Berge beschränkt. Die ermittelte Tiefenlage spricht dabei für einen gegenüber dem Warthe-Eis erheblich geringeren Tiefgang als vergleichsweise in der Gorlebener Rinne im Gebiet Dömitz-Lenzen. Dies würde zusätzlich unterstreichen, dass die Drenthe im Bereich der heutigen Holstein-Hochlage im Raum Streesow-Sargleben-Garlin-Dargardt keine stauchende Wirkung entfaltete. Ein Grund für das überwiegende Fehlen drenthezeitlichen Geschiebemergels innerhalb der Klüß-Gartow-Rinne könnte gegebenenfalls eine Assimilation durch das Warthe-Eis sein. Dafür sprechen die teils „verwaschenen“ Geschiebespektren, in denen bei stets Vorhandensein von Dolomiten Nordisches Kristallin (NK) und Paläozoische Kalke (PK) nahezu angenäherte Werte zeigen und nicht Warthe-typisch PK > NK sind.

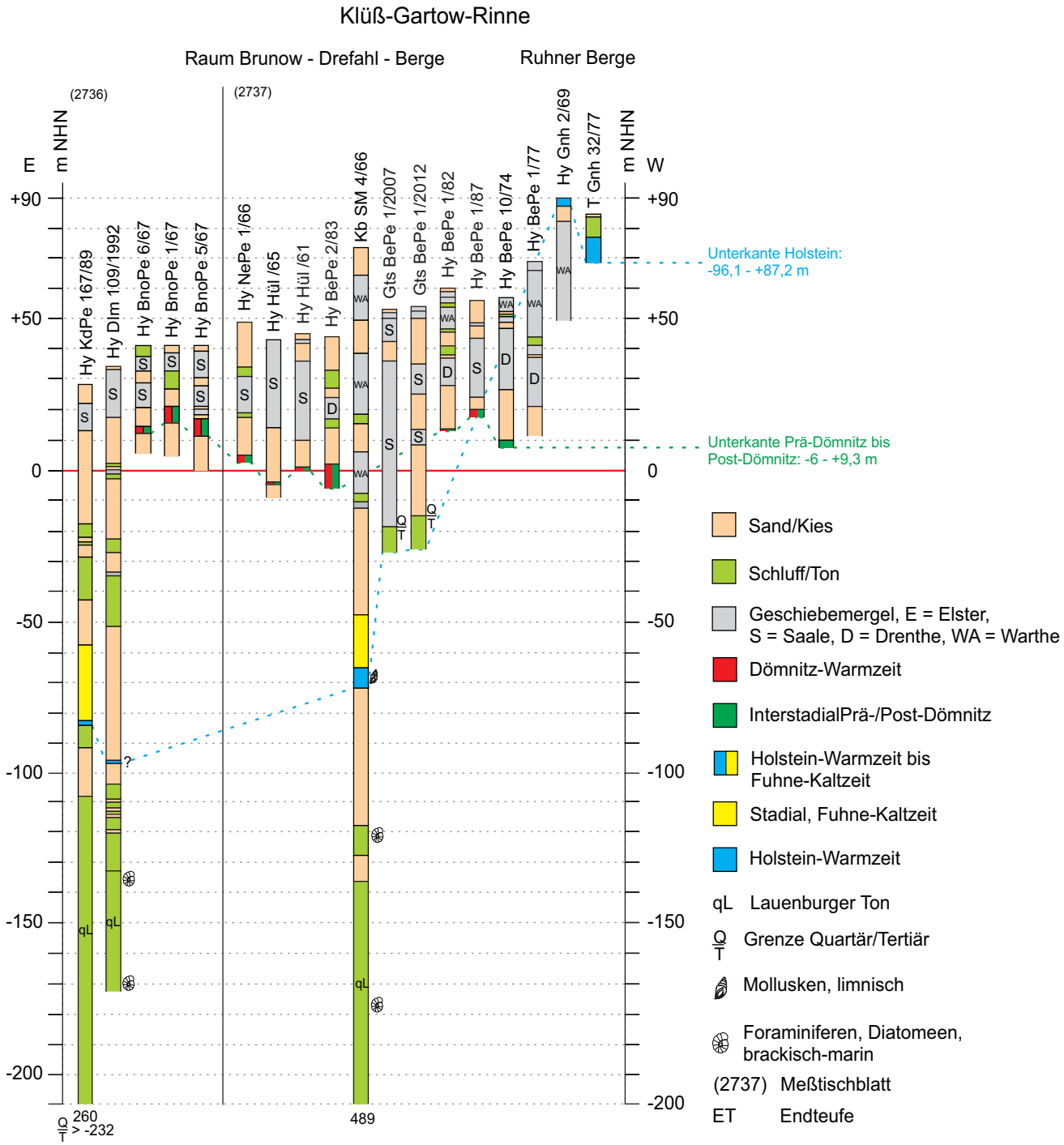


Abb. 16a: Tiefenlage der Unterkante der holsteinzeitlichen Ablagerungen im Gebiet Streesow-Dallmin-Drefahl [Daten Mecklenburg-Vorpommern: Landesamt für Umwelt, Natur und Geologie Mecklenburg-Vorpommern LUNG)]

Fig. 16a: Depth of the lower edge of the Holsteinian deposits in the Streesow-Dallmin-Drefahl area [Data for Mecklenburg-Western Pomerania: State Office for the Environment, Nature, and Geology of Mecklenburg-Western Pomerania (LUNG)]

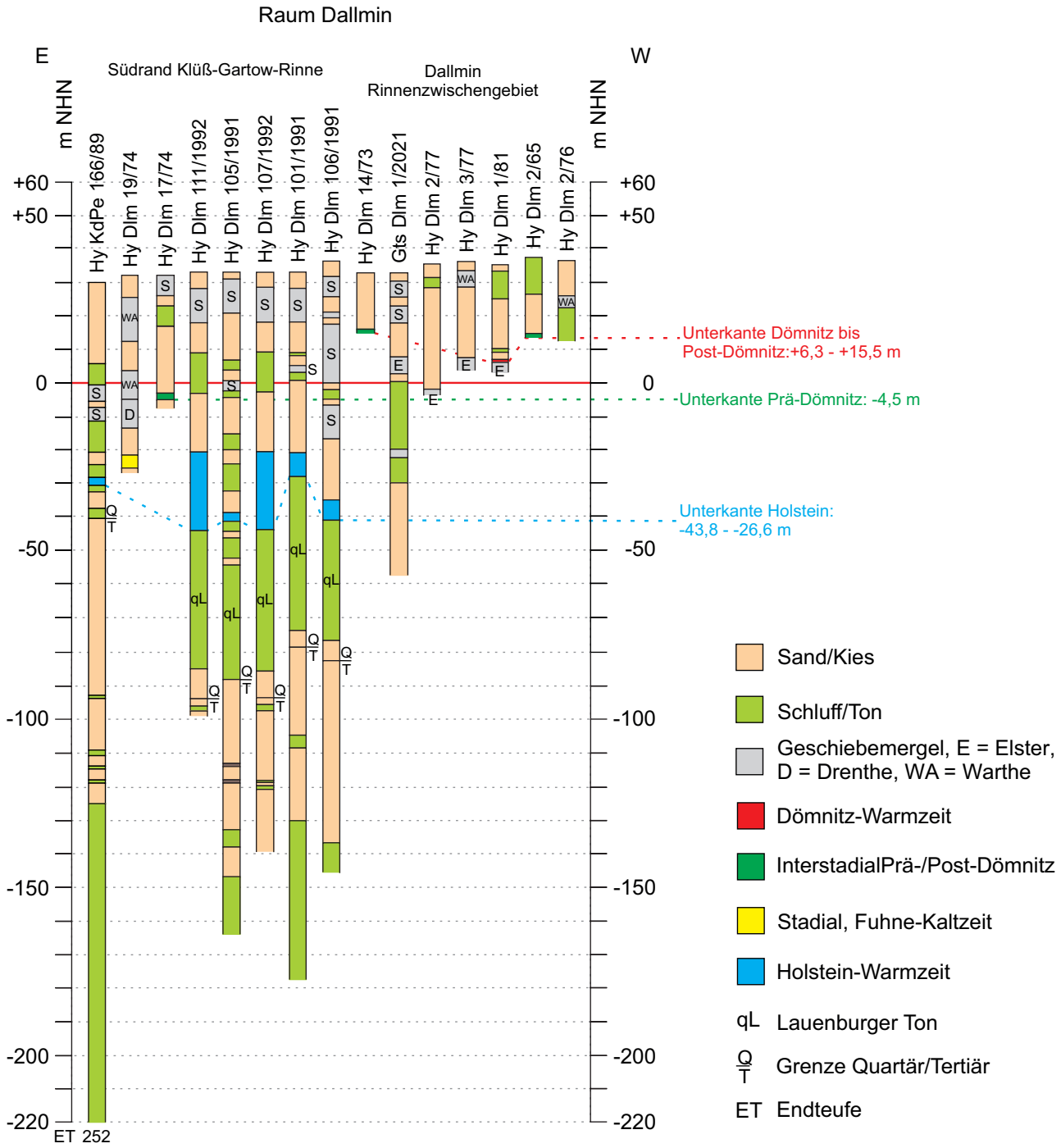


Abb. 16b: Tiefenlage der Unterkante der holsteinzeitlichen Ablagerungen im Gebiet Streesow-Dallmin-Drefahl [Daten Mecklenburg-Vorpommern: Landesamt für Umwelt, Natur und Geologie Mecklenburg-Vorpommern LUNG)]

Fig. 16b: Depth of the lower edge of the Holsteinian deposits in the Streesow-Dallmin-Drefahl area [Data for Mecklenburg-Western Pomerania: State Office for the Environment, Nature, and Geology of Mecklenburg-Western Pomerania (LUNG)]

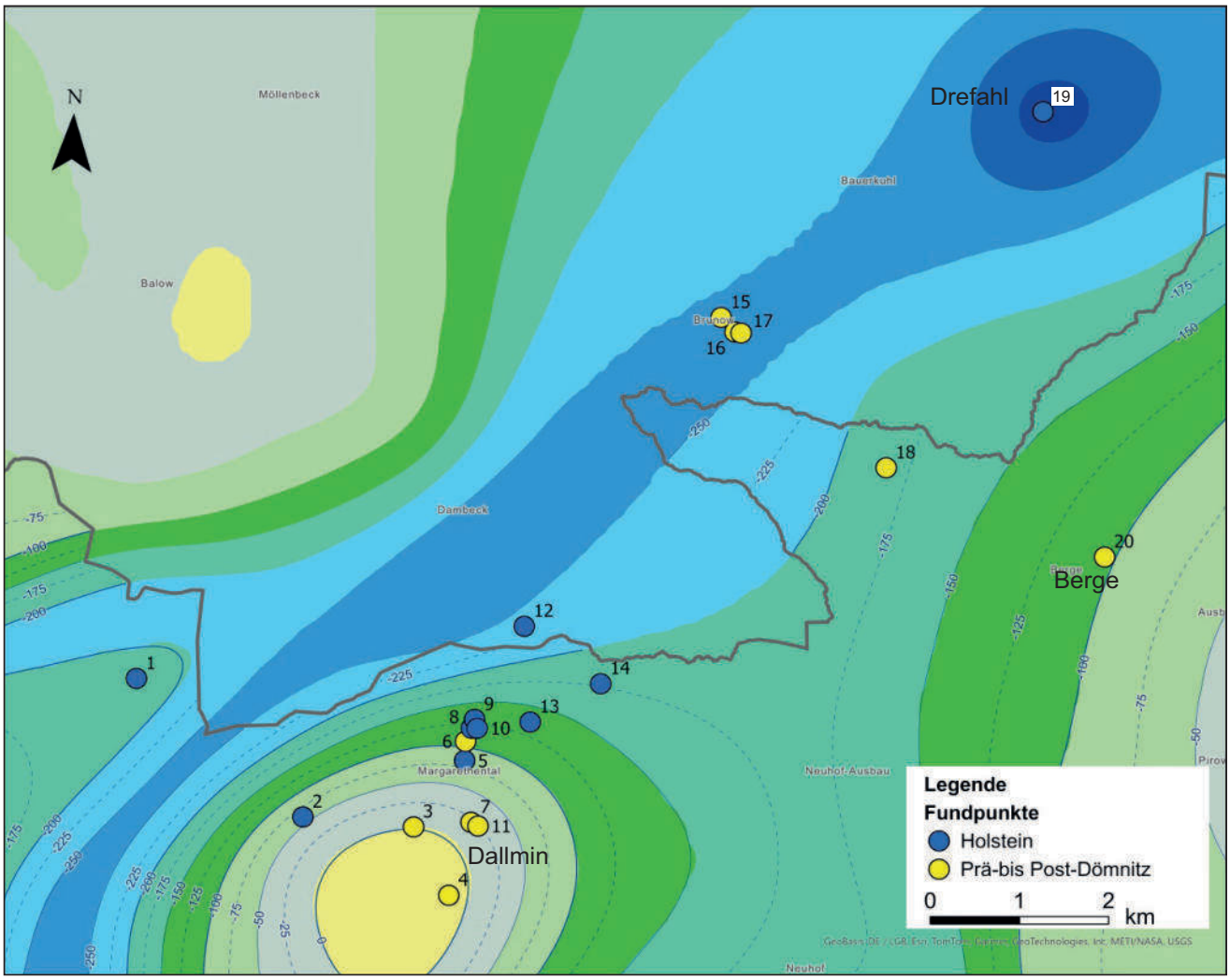


Abb. 17: Ausschnitt der Quartärbasis im Raum Dallmin-Drefahl (blau = Holstein, gelb = Prä- bis Post-Dömnitz); Legende vgl. Abb. 2
1 – Hy KdPe 167/89; 2 – Hy KdPe 166/89; 3 – Hy Dlm 14/73; 4 – Gts Dlm 1/2021; 5 – Hy Dlm 19/74; 6 – Hy Dlm 17/74; 7 – Hy Dlm 1/81; 8 – Hy Dlm 111/1992; 9 – Hy Dlm 105/1991; 10 – Hy Dlm 107/1992; 11 – Hy Dlm 2/65; 12 – Hy Dlm 109/1992; 13 – Hy Dlm 101/1991; 14 – Hy Dlm 106/1991; 15 – Hy BnoPe 6/67; 16 – Hy BnoPe 1/67; 17 – Hy BnoPe 5/67; 18 – Hy Hül /65; 19 – Kb SM 4/66; 20 – Hy BePe 10/74

Fig. 17: Section of the Quaternary base in the Dallmin-Drefahl area (blue = Holsteinian, yellow = Pre- to Post-Dömnitz); see Fig. 2 for legend

Hinsichtlich der immer wieder auflebenden Diskussion zur Rinnengenese versuchte von Bülow (2004) eine von der Salzstruktur Marnitz ausgehende halokinetische Wirksamkeit bei der elsterzeitlichen Rinnenentstehung abzuleiten. Dazu wurden stratigraphisch relevante Horizonte der Kb SM 4/66 im Rinnentiefsten (Abb. 16a) zeitlich umgedeutet, um den bei syngenetischem Ansatz erforderlichen Ausgleich des durch Subrosion entstehenden Volumendefizits zu belegen. Dies betrifft zum einen die zwischen 119,80–144,50 m anstehenden organogenen Ablagerungen mit Resten von *Azolla filiculoides* und limnischen Mollusken, die nicht holstein-, sondern als dömnitzzeitlich aufgefasst werden. Zum anderen werden die marinen, Foraminiferen führende und durch ihre auffallende rote, rotbraune und grüne Färbung charakterisierten Tone zwischen 191,10–201,00 und 242,40–285,20 m Teufe nicht als Lauenburger Ton, sondern als marines Holstein gedeutet. Betrachtet man die Tiefenniveaus und den Sedimentcharakter insbesondere der Tone, ist diese Ableitung nachdrücklich in Frage zu stellen. So liegen die „dömnitz"-zeitlichen Sedimente mit -46,4 – -71,10 m NHN deutlich im Tiefeniveau der holstein- und fuhnezeitlichen Ablagerungen in der Klüß-Gartow-Rinne (Abb. 16a). Tatsächlich dömnitzzeitliche Sedimente lagern jedoch bei durchschnittlich +10 m NHN innerhalb untersaalezeitlichen Fluviatils u. a. in/bei Brunow und Berge über der Gartow-Klüß-Rinne (Abb. 16a, 17). Ebenso decken sich nicht nur das Tiefenniveau der Oberkanten des in der Rinne großflächig verbreiteten Lauenburger Tons zwischen -107,40 und -117,70 m NHN (Abb. 16a), sondern auch dessen auffällige Farbzeichnung. Zudem konnte in der

Hy Dlm 109/1992 (Abb. 16a) eine bereits weiter oben vorgestellte, nahezu identische Foraminiferen-Vergesellschaftung nachgewiesen werden, die den brackisch-marinen holsteinzeitlichen Ablagerungen in dieser Form fehlt. Dies zeigen auch Untersuchungen von Rusbült (in Müller 2002) aus dem Raum Güstrow.

Nicht zuletzt müsste für ein Absinken der Rinnenbasis infolge halokinetischen Einflusses eine entsprechende Mächtigkeitszunahme der saalekaltzeitlichen Ablagerungen vorliegen, die sich, wie auch bereits durch Müller & Obst (2008) angeführt, im Vergleich zur Hagenower Rinne nicht ableiten lässt. Mit der Umdeutung würde aber, wie in der Gorlebener Rinne über dem Salzstock Gorleben, damit ebenfalls nur eine sekundäre Subrosion durch hier entsprechend mächtige holstein- und dömnitzzeitliche Sedimente nachvollziehbar sein.

Viel mehr sind mit der Salzstruktur Marnitz in Verbindung stehende postfuhnezeitliche Aufstiegsbewegungen wahrscheinlich, die im Vergleich zum Raum Streesow-Sargleben-Garlin-Dargardt weit höhere Ausmaße gehabt haben dürften. Denn betrachtet man die heutige NHN-Position der holsteinzeitlichen Ablagerungen bei bis zu mehr als +80 m (T Gnh 32/77, Hy Gnh 2/69; Abb. 16a), muss dem nach KGZ (Hy Gnh 2/69; Abb. 16a) warthezeitlichen Eis beim Erreichen des heutigen Stauchungsgebietes im Bereich der Ruhner Berge ein ausreichend hohes Widerlager entgegengestanden haben. Während im Wirkungsbereich der Salzstruktur Rambow wegen der geringeren Aufstiegsrate der holstein- und fuhnezeitlichen Ablagerungen lediglich randliche glazigene Beanspruchungen nachzuweisen sind, wurden hier gleichalte Sedimente regelrecht aus ihrem Schichtverband gerissen und aufgeschuppt.

Danksagung

Für die unermüdliche Bearbeitung der Mollusken danken wir Herrn Dr. Stefan Meng (Universität Greifswald) sehr herzlich. Ebenso danken wir unseren ehemaligen Kollegen, insbesondere Frau Angela Sonntag für die Erarbeitung der analogen Kartengrundlagen und Herrn Detlef Mehlau für die Unterstützung bei der dazu im Vorfeld erforderlichen Digitalisierung und in graphischen Angelegenheiten.

Zusammenfassung

Im Zuge der Erarbeitung sowohl der Karte der limnischen und limnisch-fluviatilen Ablagerungen der Holstein-Warmzeit und des Unter-Saale als auch der Karte der Quartärbasis der Länder Brandenburg und Berlin wird in loser Folge der Kenntnisstand zu den beide Länder prägenden elsterzeitlichen Rinnenstrukturen und ihren Rinnenzwischengebieten zusammengefasst. Den Auftakt bildet die Klüß-Gartow-Rinne in NW-Brandenburg.

Summary

As part of the elaboration of the map of the limnic and limnic-fluviatile sediments of Holsteinian-Warm Period and Early Saalian as well as the map of the Quaternary base of the states of Brandenburg and Berlin, the knowledge level on the Elsterian channels that characterise both states and their intermediate areas is summarized in loose succession. The Klüß-Gartow-channelsystem in NW-Brandenburg forms the prelude.

Literatur:

Appel, D. & W. Habler (1998): Qualifizierung postholsteinzeitlicher Subrosion am Salzstock Gorleben durch statistische Auswertung von Bohrergebnissen. – Mitt. Geol. Inst. Univ. Hannover **38**, S. 7–30

Berner, K. (2000): I – 2.3.1 Stratigraphie und Lagerungsverhältnisse im Raum Eisenhüttenstadt. – In: Schroeder, J. H. & F. Brose (Hrsg.): Führer zur Geologie von Berlin und Brandenburg – Nr. 7: Frankfurt (Oder) – Eisenhüttenstadt, S. 29–39 (Selbstverlag Geowissenschaftler in Berlin und Brandenburg e. V.)

Breuer, S., Bebiolka, A., Noack, V. & J. Lang (2024): Subglaziale Rinnen in Norddeutschland: Analyse des aktuellen Kenntnisstands und ihre Relevanz für die Langzeitsicherheit in der Endlagerung. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **31**, S. 69–71

Bülow, W. von (2000) (Hrsg.): Geologische Entwicklung Südwest-Mecklenburgs seit dem Ober-Oligozän. – Schriftenr. f. Geowiss. **10**, 413 S., Berlin

Bülow, W. von (2004): Die Kraaker Schichten (Holstein-Komplex) im südwestlichen Mecklenburg und nordwestlichen Brandenburg. – Brandenburgische Geowiss. Beitr. **11**, 1/2, S. 97–110

Cepek, A. G. (1967): Stand und Probleme der Quartärstratigraphie im Nordteil der DDR. – Ber. deutsch. Ges. geol. Wiss., **A 12**, 3/4, S. 375–404

Diener, S. (1978): Schwermineralogische Untersuchung zum Thema „Lithofazieskarten Quartär 1 : 50 000“ – Profil Wasserwerk Putlitz 1/76. – Bericht ZGI Berlin vom 15.10.1978, 10 S., 4 Anl., Berlin (unveröff.)

Duphorn, K., mit einem Beitrag von Richter, A. (1987): Die quartäre Subrosion am Endlagersalzstock Gorleben. – Eine vergleichende Betrachtung der Arbeitsmethoden, Bohrbefunde, Deutungen und sicherheitsgeologischen Bewertungen. – Meyniana **39**, S. 41–69

Giersch, H., Küstermann, W. et al. (1989): Ergebnisbericht Reflexionsseismik (GSC, GSV) Perleberg 1.1/Rad-

uhn 1.1. – Ergebnisbericht VEB Geophysik Leipzig vom 29.12.1989, 321 Bl. (unveröff.)

Grosser, P. & M. Hannemann (1960): Ein neues Interglazialvorkommen im Raum Fünfeichen westlich Fürstenberg (Oder). – Geologie **9**, 3, S. 299–307

Hannemann, M. (1964): Quartärbasis und älteres Quartär in Ostbrandenburg und ihre Bedeutung für die angewandte Geologie. – Z. angew. Geol. **10**, S. 370–376

Hinsch, W. (1993): Marine Molluskenfaunen in Typusprofilen des Elster-Saale-Interglazials und des Elster-Spätglazials. – Geol. Jb. **A 138**, S. 9–34

Hönemann, G., Küstermann, W. & W. Meyer (1995): Reflexionsseismische Kartierung von Tieflagen der Pleistozänbasis in Norddeutschland. – Z. geol. Wiss. **23**, S. 261–275

Jerz, H. & G. Linke (1987): Arbeitsergebnisse der Subkommission für Europäische Quartärstratigraphie: Typusregion des Holstein-Interglazials. – Eiszeitalter u. Gegenwart **37**, S. 145–148

Klinge, H., Köthe, A., Ludwig, R.-R. & R. Zwirner (2002): Geologie und Hydrogeologie des Deckgebirges über dem Salzstock Gorleben. – Z. Angew. Geol. 2, S. 7–15

Köhler, E. (1974): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung Hy-Dömitz 26/69 und Lenzen. – Bericht GFE Halle vom 09.12.1974, 6 S., Halle/S. (unveröff.)

Köhler, E. (1975): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung Hy Garlin 1/70. – Bericht GFE Halle vom 17.02.1975, 2 S., Halle/S. (unveröff.)

Köthe, A., Weiss, W. & R. Zwirner (2002): Die ologozäne und miozäne Schichtenfolge im mittleren Teil der Salzstruktur Gorleben-Rambow. – Brandenburgische Geowiss. Beitr. **9**, 1/2, S. 17–31

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. **C72**, 201 S.

Krüger, E. (1960): Bericht des Geologischen Dienstes Schwerin über die Ergebnisse von Ziegelton-Baustoffkartierungsbohrungen im Raum Perleberg auf den Teilobjekten Streesow, Dargardt und Burghagen Kreis Perleberg, Bezirk Schwerin im Jahre 1959 nebst Vorratsberechnung. – Bericht Zentraler Geologischer Dienst, Geologischer Dienst Schwerin vom 18.05.1960, 16 S., 2 Tab., 7 Anl. (unveröff.)

Lang, J. & A. Hampel (2023): Deformation of salt structures by ice-sheet loading: insights into the controlling parameters from numerical modelling. – International Journal of Earth Sciences **112**, S. 1133–1155 https://doi.org/10.1007/s00531-023-02295-5

Lazar, E. (1960): Ein ungewöhnlicher Erhaltungszustand bei interglazialen Mollusken. – Geologie **9**, 3, S. 308–315

Lippstreu, L., Hermsdorf, N., Sonntag, A. & J. Strahl (2015): 3.3.3 Quartär. – In: Stackebrandt, W. & D. Franke (Hrsg.): Geologie von Brandenburg. – S. 333–438, Stuttgart (Schweizerbart)

Litt, T., Behre, K.-E., Meyer, K.-D., Stephan, H.-J. & S. Wansa (2007): Stratigraphische Begriffe für das Quartär des norddeutschen Vereisungsgebietes. – Eiszeitalter und Gegenwart Quaternary Science Journal **56**, 1/2, S. 7–65

Meng, S., Strahl, J., Börner, A., Krienke, K., Zettler, M. L. & C. Wrozyna (2024): The bay barnacle *Amphibalanus improvisus* (Darwin, 1854) in the Pleistocene of Europe? A review of Pleistocene Balanidae of northern Central Europe. – Journal of Quaternary Science, S. 1–19 DOI:10.1002/jqs.3603

Müller, U. (2002): Marine Ingressionen im Lauenburger Ton (Elster-Spätglazial) Mecklenburg-Vorpommerns. – Tagungsband und Exkursionsführer 69. Tagung NWG, S. 48–49

Müller, U. (2004): Alt- und Mittelpleistozän. – In: Katzung, G. (Hrsg.): Geologie von Mecklenburg-Vorpommern. – S. 226–231, Stuttgart (E. Schweizerbart)

Müller, U. & K. Obst (2008): Junge halokinetische Bewegungen im Bereich der Salzkissen Schlieven und Marnitz in SW-Mecklenburg. – Brandenburg. geowiss. Beitr. **15**, 1/2, S. 147–154

Reinhardt, H.-G. (1967): Hinweise der Prospektionsseismik auf rezente Salzbewegungen im Norden der DDR. – Geologie **16**, S. 95–100

Rosin, T. (2025): Geophysikalische Untersuchung mittels tTEM-Verfahren im Raum Hangelsberg. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **32**, S. 57–67

Rusbült, J. (1960): Untersuchungsbefund 156 (Z). – Bericht Geologischer Dienst Schwerin, Arbeitsgruppe Paläontologie vom 25.01.1960, 6 S., Schwerin (unveröff.)

Rusbült, J. (1998): Mikropaläontologischer Untersuchungsbericht Hydrobohrung Güstrow 4/77, Gemeinde Nienhagen. – Bericht LUNG Mecklenburg-Vorpommern vom 16.03.1998, 2 S., Schwerin (unveröff.)

Schwarzenholz, W. (1955): Bericht über die Untersuchungen einer Probe von Neu-Pinnow 29/55, Teufe 14,10 – 15,00. – Bericht ZGI Berlin vom 26.01.1955, 2 S., Berlin (unveröff.)

Schwarzenholz, W. (1957): Bericht über die Untersuchung der Bohrung Streesow 32/54, Kreis Perleberg (Blatt 2736 Balow) auf Diatomeen. – Bericht ZGI Berlin vom 30.10.1957, 5 S., Berlin (unveröff.)

Sonntag, A. & L. Lippstreu (2004): Tiefenlage der Quartärbasisfläche des Landes Brandenburg i. M. 1 : 500 000. – Brandenburgische Geowiss. Beitr. **11**, 1/2, S. 96

Sonntag, A. & L. Lippstreu (2010): Tiefenlage der Quartärbasisfläche i. M. 1 : 1 000 000. – In: Stackebrandt, W. (Hrsg.): Atlas zur Geologie von Brandenburg, S. 54–55

Sonntag, A. (2008): Beiheft Geologische Übersichtskarte 1 : 100 000 Landkreis Prignitz. – Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg **1**, 31 S.

Stackebrandt, W. (2009): Subglacial channels of Northern Germany – a brief review. – Z. dt. Ges. Geowiss. **160**, 3, S. 203–210

Stackebrandt, W. (2015): 4.6 Die elsterzeitlichen Rinnen – ein Beispiel für die Wechselwirkung endo- und exogener landschaftsgenetischer Prozesse. – In: Stackebrandt, W. & D. Franke (Hrsg.): Geologie von Brandenburg. – S. 487–490, Stuttgart (Schweizerbart)

Strahl, J. (2000): Pollenanalytische Untersuchung der Bohrungen GoHy 852, GoHy 2112 und GoHy 2114 (Projekt Gorleben). – Bericht LBGR vom 23.11.2000, 15 S., 4 Anl., Kleinmachnow (unveröff.)

Strahl, J. (2004): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung der Bohrungen T Ssw 10/03, 17/03 und 20/03 Tontagebau Streesow, Land Brandenburg. – Bericht LGBR vom 26.03.2004, 6 S., Kleinmachnow (unveröff.)

Strahl, J. (2023): Revision der palynostratigraphischen Gliederungen der Holstein-Warmzeit und des Unter Saale Berlin-Brandenburgs. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **30**, S. 7–37

Strahl, J. & R. Zwirner (2002): Lithologische und pollenanalytische Untersuchungen an holstein- bis fuhnezeitlichen Ablagerungen im Gebiet Dömitz-Lenzen (NW-Brandenburg). – Brandenburgische Geowiss. Beitr. **9** (1/2), S. 33–43

Strahl, J. (2024): Bericht zur Revision der pollenanalytischen Untersuchungen der Bohrungen Hy Go 1623/1996, Hy Go 1553/1996 und Hy Go 1542/1996 (Projekt Dömitz-Lenzen), Land Brandenburg sowie der Bohrungen Hy GrawLl 20/1972, Hy GrawLl 2/1972 und Hy GrawLl 1/1972, Land Mecklenburg-Vorpommern, Gorlebener Rinne. – Bericht LBGR vom 02.01.2024, 20 S., Cottbus (unveröff.)

TGL 25 234/07 (1981): Fachbereichsstandard Geologie, Stratigraphie, Stratigraphische Skala der DDR, Quartär.- Zentrales Geologisches Institut, 15 S., Berlin

Weisse, A. (2004): Tontagebau Streesow – Geologisch-lagerstättenkundlicher/keramischer Bericht. – Bericht gub Geotechnik Umwelttechnik Bautechnik vom 24.11.2004, 31 S., 46 Anlagen (unveröff.)

Wienholz, E. (1957): Bericht über die Arbeiten zur Stratigraphie der Bohrung Rambow 1/52. – Bericht VEB Erdöl-Erdgas, Abt. Geologie vom 29.11.1957, 3S., Ludwigslust (unveröff.)

Winn, K. & H. Erlenkeuser (1998): Das Eem-Meer in Norddeutschland und angrenzenden Gebieten: Aufbau einer stratigraphischen Feingliederung und Untersuchung der paläohydrographischen Entwicklung nach isotopischen, sedimentologischen, geochemischen und faunistischen Kriterien. – Abschlussbericht zum DFG-Forschungsvorhaben Wi 1322/1-1,-2, 95 S., Kiel (unveröff.)

Zwirner, R. & H. Ziermann (2010): Verbreitung und Tiefenlage der Holstein-Warmzeit und frühsaalezeitlicher Ablagerungen i. M. 1 : 1 000 000. – In: Stackebrandt, W. (Hrsg.): Atlas zur Geologie von Brandenburg, S. 52–53

Internetzugriffe:

Nordsieck, R.: Die lebende Welt der Weichtiere. – https://www.weichtiere.at/Schnecken/index.html?/Schnecken/suesswasser/valvatidae.html, letzter Internetzugriff am 14.08.2025

rbb24 (2024): Karstädter Dachziegelwerk Braas nimmt Betrieb wieder auf. – https://www.rbb24.de/wirtschaft/beitrag/2024/01/prignitz-karstaedt-dachziegel-werk-braas-ofen-kurzarbeit-betrieb-produktion.html, letzter Internetzugriff am 29.11.2024

Anschriften der Autoren:

Dr. Jaqueline Strahl
Sophia Rütters
Landesamt für Bergbau, Geologie
und Rohstoffe Brandenburg
Inselstr. 26
03046 Cottbus
jaqueline.strahl@lbgr.brandenburg.de

Aus den laufenden Arbeiten des Geologischen Dienstes: Ein seltener Anblick – in der Kiesgrube Groß Buchholz bei Perleberg (Prignitz) wurde 2025 im laufenden Grubenbetrieb ein Diapir aus eemzeitlichen Mudden aufgeschlossen, der sich durch den Überlagerungsdruck der hangenden weichselzeitlichen Decksande gebildet hat. Das bisher nur aus einer Bohrung bekannte Eem-Vorkommen wird derzeit von Mitarbeitern des LBGR und weiterer Partnerinstitutionen untersucht (Foto: O. Juschus 12.09.2025).

Brandenburg. Geowiss. Beitr.	Cottbus	Bd. 32/2025	S. 57–67	8 Abb., 4 Lit.

Geophysikalische Untersuchung mittels tTEM-Verfahren im Raum Hangelsberg

Geophysical survey using the tTEM method in the Hangelsberg area

Tino Rosin

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Im Land Brandenburg befinden sich im tieferen Untergrund jungpaläozoische und mesozoische Gesteinseinheiten, die hochmineralisierte Wässer (bis max. 200 g/l) führen (Kaboth et al. 2008). Diese werden durch tertiäre Sedimentschichten wie den unteroligozänen Rupelton und/oder Tonmergelsteine überlagert, sodass durch diese Grundwassergeringleiter eine Trennung des liegenden Salzwasser- vom hangenden Süßwasserstockwerk erfolgt. Jedoch ist der Rupelton in bestimmten Gebieten teilweise bzw. vollständig erodiert, sodass lokal versalzene Tiefenwässer in Süßwasserhorizonte aufsteigen können. Diese geogenen Grundwasserversalzungen können in Wassergewinnungsanlagen zu Problemen führen, im Extremfall bedeuten sie das Aus von Brunnen oder einer gesamten Brunnengalerie (Baumann et al. 2004).

Geophysikalische Untersuchungen sind Methoden, um sowohl die Mineralisation des Grundwassers als auch den Aufbau des Untergrundes und damit mögliche Fließpfade für aufsteigende geogen-salinare Tiefenwässer zu erkunden.

Dabei gibt es eine große Bandbreite an verschiedenen Methoden, deren Eignung von der jeweiligen Aufgabenstellung abhängt. Zu beachten sind die Unterschiede in Untersuchungstiefe und -auflösung, in der Untersuchungsgeschwindigkeit und der daraus resultierenden untersuchbaren Fläche sowie in der Einsetzbarkeit der jeweiligen Methoden im jeweiligen Untersuchungsgelände.

Der vorliegende Artikel basiert auf einer geophysikalischen Untersuchung, die im Auftrag des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR) im Jahr 2023 durchgeführt worden ist.

Für die hier vorgestellte geophysikalische Methode mit dem tTEM-Verfahren (towed transient electromagnetic system) wurde das Untersuchungsgebiet im Bereich des Landesforstes nördlich von Hangelsberg ausgewählt (Abb. 1). Die Auswahl erfolgte unter folgenden Gesichtspunkten:

- Lage des Gebietes im zentralen Bereich einer Quartären Ausräumungszone (QAZ; hier nachfolgend die Eberswalde-Storkow-Rinne) als potentielle Aufstiegszone für geogen-salinare Tiefenwässer,
- geringe Bohrungsdichte mit den damit einhergehenden Ungenauigkeiten im Bereich geologischer und hydrogeologischer Modellvorstellungen,
- sehr geringe Anzahl verfügbarer hydrochemischer Analysen und damit verbundene geringe Kenntnis des Grundwasserchemismus in den quartären Grundwasserleitern (GWL) sowie
- perspektivische wasserwirtschaftliche Nutzung an diesem Standort, die eine genaue Kenntnis sowohl der (Hydro-) Geologie als auch des Grundwasserchemismus erfordert.

2 Untersuchungsgebiet

Das ausgewählte Untersuchungsgebiet umfasst eine Fläche von ca. 30 km^2 und wird von einer Reihe von Waldwegen durchzogen (Abb. 2). Verglichen mit anderen Gebieten Brandenburgs ist die Bohrdichte hier relativ gering. Darüber hinaus stammen einige der Bohrungen aus Projekten zur Braunkohlenerkundung der DDR, deren Erkundungsschwerpunkt nicht im Bereich des Aufbaus der quartären GWL, der Grundwasserhydraulik und der Hydrochemie lag. Somit sind diese Bohrungen nicht vorbehaltlos verwendbar. Insgesamt wurden 12 Grundwassermessstellen(-gruppen) bzw. Bohrungen im Zuge der Untersuchungen als Datenbasis verwendet. An der westlichen Grenze sowie im östlichsten Bereich des Gebietes verlaufen Hochspannungsleitungen. Im südwestlichen Bereich befindet sich ein mittlerweile gewerblich genutztes ehemaliges Militärgelände. Darüber hinaus wird das Untersuchungsbiet in der Mitte durch eine Nord-Süd verlaufende Landstraße (L385) getrennt (Abb. 1).

Das Untersuchungsbiet befindet sich landschaftsgeografisch im Bereich der Berlin-Fürstenwalder Spreetalniederung. Das Einzugsgebiet einer potenziellen Wasserfassung

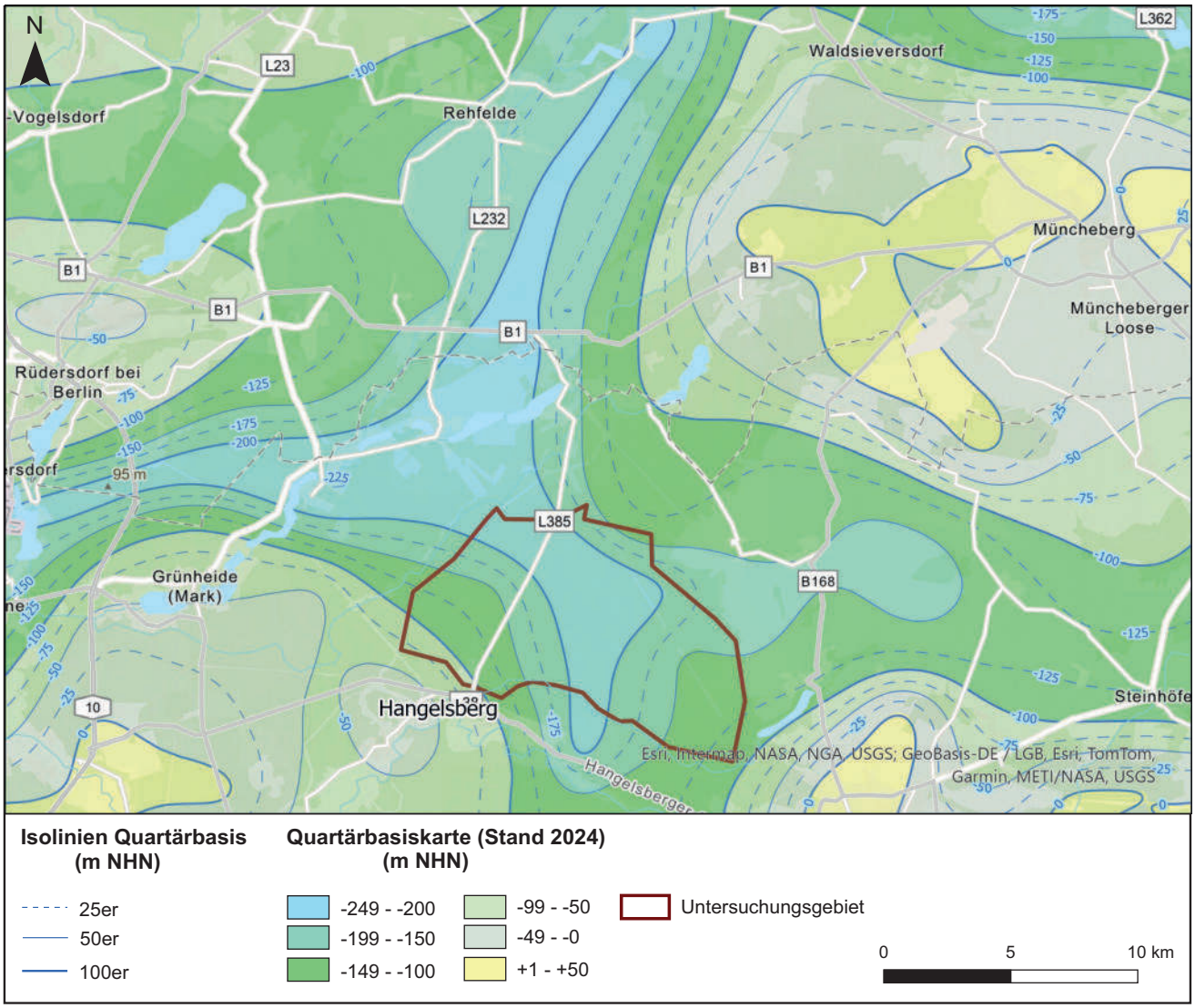


Abb. 1: Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes mit Lage der Quartärbasis
Fig. 1: Overview map of the study area with location of the Quaternary base

in diesem Bereich würde sich aus dem Talsandbereich heraus nach Nordosten über die Flächen des Jänickendorfer Kegelsanders bis in die Grundmoränen bei Beerfelde sowie bis in den Raum Müncheberg erstrecken. Folgender Grundwasserleiteraufbau ist vor der flächenhaften geophysikalischen Erkundung erwartet worden (HGN 2023; die nachfolgend angeführten GWL I–III entsprechen den GWL 1–3 nach Nomenklatur des LBGR):

- GWL I – weichselkaltzeitliche Sande und warthekaltzeitliche Nachschüttsande, Mächtigkeit mindestens 20 m,
- GWL II – = Hauptgrundwasserleiter, drenthe-/warthekaltzeitliche Sande bzw. Sande der Tertiärhochlagen, flächenhaft ca. 20–30 m mächtig, westlich der L385 geringmächtiger und z. T. schluffig ausgebildet,
- GWL III – oft schluffige Sande der Tertiärhochlagen und in Rinnenposition elsterkaltzeitliche Sande >50 m mächtig.

Einige Bohrungen im Untersuchungsgebiet weisen darauf hin, dass keine flächenhafte hydraulische Trennung zwischen dem GWL 1 und GWL 2 existiert. Unterhalb des Landesforstes verläuft in N–S-Richtung die Eberswalde-Storkow-Rinne mit einer Tiefe von über 230 m (Abb. 1). Im Zuge ihrer Anlage wurde der oligozäne Rupelton stellenweise vollständig ausgeräumt. Die nordwestliche Grenze des Untersuchungsgebietes bildet der südlich Rehfelde befindliche, nach SW erfolgende Übergang zur Schmöckwitz-Ludwigsfelde-Blankensee-Rinne. Im Norden bei Kienbaum knickt die Hauptrinne in Richtung Südsüdost ab, während sich nach Osten ein breiter aber flacher Seitenarm öffnet. Nach Unterquerung der Ortslage Hangelsberg und der Spree verlässt die Eberswalde-Storkow-Rinne das Untersuchungsgebiet nach Süden.

Für den gesamten Raum zwischen Grünheide im Westen und Fürstenwalde im Osten liegen nur wenige hydrochemische Grundwasseranalysen vor. Entlang der Spree

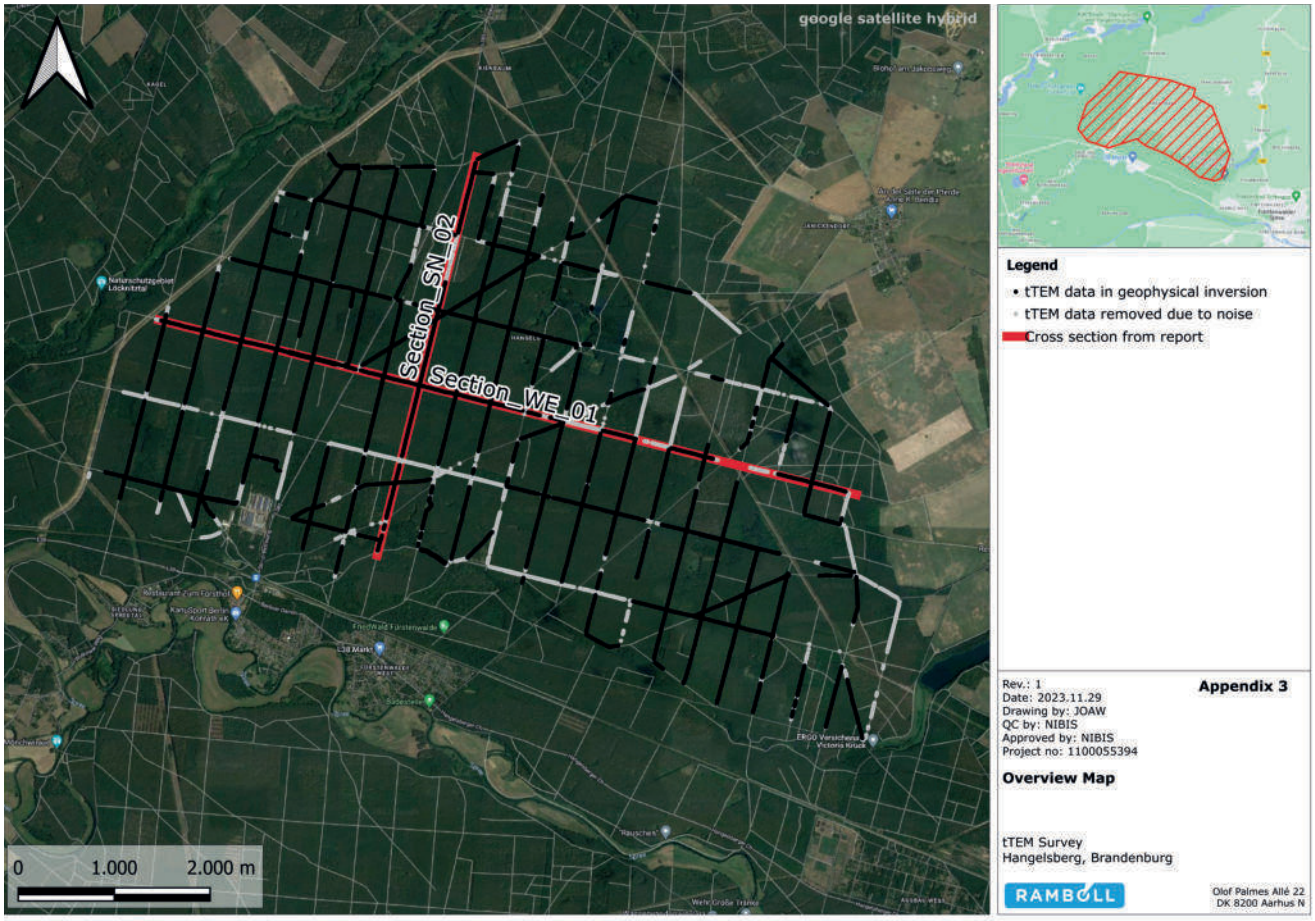


Abb. 2: Untersuchungsgebiet nördlich von Hangelsberg mit den mittels tTEM-Verfahren gemessenen (schwarz) und aufgrund von Störungen verworfenen Streckenabschnitten (grau)

Fig. 2: Investigation area north of Hangelsberg with the track sections measured using the tTEM method (black) and discarded due to disturbances (gray)

wurden bereits im oberen, unbedeckten GWL erhebliche Chlorid-Gehalte festgestellt. Im Bereich des Landesforstes nördlich von Hangelsberg konnte jedoch lediglich im Bereich der Grundwassermessstelle (GWM) Hy F 2/90, die in der Nähe des Schnittpunktes der beiden Profillinien in Abbildung 2 liegt, ein erhöhter Chlorid-Gehalt nachgewiesen werden. Anhand der vor der geophysikalischen Untersuchung mit dem tTEM-Verfahren vorliegenden Informationen ist die Hypothese, dass es sich um geogen-salinare Tiefenwässer handelt, die entlang des Rinnenrandes, u. a. im Bereich der GWM Hy F 2/90, aufsteigen und in dünnen Salzwasserfahnen Richtung Spree entlasten.

3 Messverfahren und Untersuchungsmethodik der Feldarbeiten

Die tTEM-Methode ist eine zeitabhängige elektromagnetische Untersuchungsmethode, die für hydrogeophysikalische und Umweltuntersuchungen entwickelt wurde. Die Methode basiert auf langjähriger Forschung an der Universität Aarhus in Dänemark. Die Anfänge dieses Systems reichen bis zur Entwicklung des pulled-array TEM (PATEM)-Systems und später des SkyTEM-Luftsystems zurück.

Instrumentenaufbau und -funktionsweise

Das tTEM-System misst kontinuierlich, während es am Boden gezogen wird. Es ist darauf ausgelegt, eine sehr hohe Auflösung in oberflächennahen Bereichen und eine hohe Wiederholfrequenz zu bieten. Das tTEM basiert auf einer Konfiguration, bei der die Empfangsspule (Rx-Spule) etwa 7,5 m hinter der Sendespule (Tx-Spule) gezogen wird. Die Rx-Spule ist horizontal ausgerichtet, d. h. sie misst die z-Komponente der Magnetfelder. Ein ATV oder ein ähnliches Fahrzeug zieht das tTEM-System. Bei der Tx-Spule handelt es sich um eine oder mehrere Schleifen, die von Trägern gehalten werden, wie auf dem Foto in Abbildung 3 zu sehen ist. Ein GPS ist an der Vorderseite des Tx-Rahmens für die genaue Positionierung des Systems angebracht. Die Rx-Spule befindet sich auf einem kleinen Schlitten. Die Sendeelektronik, das Empfangsgerät, die Stromversorgung usw. werden an der Rückseite des ATVs transportiert. Der beschriebene Aufbau der Untersuchungsgeräte kann in Abbildung 4 nachvollzogen werden.

Abb. 3:
Feldarbeit
bei der Untersuchung
mittels tTEM-Verfahren

Fig. 3:
Field work
during the investigation
using the tTEM method

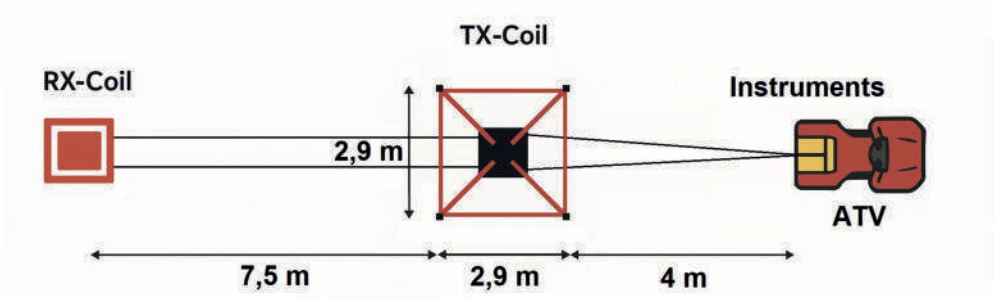


Abb. 4:
Aufbau der
Untersuchungsgeräte

Fig. 4:
Setup of the
examination devices

Bei dieser Methode wird ein Gleichstrom in die Senderschleife eingespeist. Sobald der Strom stabilisiert ist, wird der Senderstrom abrupt abgeschaltet. Der Strom in der Senderschleife wird in Pulsen ein- und ausgeschaltet. Zwischen den Pulsen wechselt die Stromrichtung von positiv zu negativ. Durch das plötzliche Abschalten des Senderstroms werden Wirbelströme von kurzer Dauer in den Untergrund induziert. Die Empfangsspule hinter der Senderschleife (Off-Set-Konfiguration) misst bei abgeschaltetem Strom das abklingende sekundäre Magnetfeld, das durch die induzierten Wirbelströme erzeugt wird. Die gemessenen Daten werden als Widerstandswerte des Untergrundes dargestellt. Hohe Widerstände können auf Kiese oder Sande, trockene Grundwasserleiter oder Bereiche mit besonders geringer Grundwassermineralisation hinweisen. Demgegenüber können geringe Widerstände auf Schluffe, Tone, Geschiebemergel oder Bereiche mit hoher Grundwassermineralisation hindeuten.

Die gewonnenen tTEM-Daten enthalten verschiedene Arten von Störsignalen. Störsignale können zu fehlerhaften Messwerten führen und die maximale Untersuchungstiefe beeinträchtigen. Wenn sie nicht korrekt identifiziert und entfernt werden, ist es möglich, dass sie zu falschen geologischen und hydrogeologischen Interpretationen führen. Häufige Quellen für Störsignale sind metallische Objekte im Boden oder an der Oberfläche (Rohrleitungen oder Zäune) und Stromkabel oder andere Objekte, die selbst ein elektromagnetisches Signal erzeugen.

Untersuchung

Die Feldarbeit bestand aus zwei Tagen tTEM-Vermessung am 28. und 29. September 2023. Die Datenerfassung erfolgte, indem das tTEM-System hinter einem ATV mit einem speziell entworfenen Schlittenrahmen mit nichtmetallischen Teilen gezogen wurde, um potenzielle Störungen zu vermeiden. Das tTEM-System wurde am Nationalen Dänischen Testgelände einer detaillierten Prüfung und Dokumentation unterzogen. Die Testergebnisse zeigten, dass das System das Dänische Test- und Referenzgelände genau wiedergibt.

Vor der Datenerfassung wurden GIS-Layer mit den geografischen Standorten des Untersuchungsgebiets und den zu befahrenden Wegen in die tTEM-Navigationssoftware geladen, wodurch eine Echtzeitverfolgung der Pfade ermöglicht wurde. Dies erlaubte es dem Bediener während der Fahrt die Dichte der gesammelten Daten zu überwachen und eine ordnungsgemäße Abdeckung des Standorts mit dem tTEM sicherzustellen. Während der Feldarbeiten

konnten die Datenqualität und die gesamte Systemfunktionalität ständig vom Bediener überprüft werden.

4 Methodik der Datenverarbeitung

Die Verarbeitung und Inversion der tTEM-Daten wurden mit dem Softwarepaket Aarhus Workbench durchgeführt. Aarhus Workbench ist ein gut dokumentiertes und technisch fundiertes Softwarepaket, das zur Verarbeitung und Inversion von elektromagnetischen, geophysikalischen Daten verwendet wird. Es wurde eine Anwendung genutzt, die speziell für die Verarbeitung und Inversion der tTEM-Daten entwickelt wurde. Die tTEM-Daten wurden mit einer Wiederholfrequenz von 196 Hz gesammelt, was 196 Abklingkurven pro Sekunde entspricht. Die hohe Anzahl an Datenpunkten ermöglichte ein fortschrittliches Datenverarbeitungsschema, um das bestmögliche Signal-Rausch-Verhältnis zu erreichen.

Zur weiteren Nutzung der gesammelten tTEM-Daten durchliefen diese die folgenden Verarbeitungsschritte:

1. Überprüfen, ob nützliche Daten während des Datenerfassungsprozesses versehentlich aussortiert wurden,
2. Importieren der Daten in eine geophysikalische Beziehungsdatenbank,
3. Prüfen, ob die Daten an Wendepunkten aussortiert worden sind, um Daten zu vermeiden, bei denen das System nicht korrekt ausgerichtet ist,
4. Verarbeiten der gesammelten GPS-Daten,
5. Zuweisen eines standardisierten gleichmäßigen Rauschens von 3 % zu allen Daten,
6. Definieren eines standardisierten Verarbeitungsschemas, um Daten automatisch zu entfernen,
7. Manuelles inspizieren aller Vermessungslinien, um Daten, die als rauschbehaftet erkannt werden und in den vorherigen Schritten nicht bereits abgelehnt wurden, zu entfernen,
8. Zuweisen von Höhenwerten aus einem digitalen Höhenmodellraster zu jedem Datenpunkt und
9. Entwickeln eines endgültig verarbeiteten Datensatzes mit einem Sondierungsabstand von etwa 12 m.

Im Anschluss an die Aufarbeitung der in der Feldarbeit gesammelten Daten erfolgt die Dateninversion indem:

1. horizontale und vertikale Randbedingungen für die Widerstände sowie die Anzahl der Modellschichten und Schichtdicken definiert,
2. die verarbeiteten Daten unter Verwendung des räumlich beschränkten Ansatzes (SCI) (Viezzoli et al. 2008) invertiert,
3. die Daten als Tiefenschnitte präsentiert und begutachtet sowie
4. die Untersuchungstiefe für jedes Widerstandsmodell basierend auf einer Sensitivitätsanalyse des Modells berechnet werden.

5 Erstellung des geologischen 3D-Modells

Im Folgenden wird das Verfahren der geologischen Modellierung, basierend auf sowohl Bohrungsdaten als auch geophysikalischen Daten erläutert. In der Abbildung 5 ist eine Gegenüberstellung dieses Verfahrens mit einer konventionellen, nur auf Bohrungsdaten beruhenden Modellierung in vier Schritten (A–D) dargestellt.

A – Datenimport in die Geoscene3D-Umgebung

Die Daten werden in die Geoscene3D-Umgebung importiert, wo sie sowohl in 3D- als auch in 2D-Profilen visualisiert werden können. Die Anzahl der Modellschichten, die erforderlich sind, um die Geologie zu erfassen, wird bewertet.

B – Interpretation und Übersetzung der Daten in Modellschichten

Die Daten werden interpretiert und mithilfe von Interpretationspunkten in Modellschichten „übersetzt“. Bei der Interpretation von geophysikalischen Daten im Bereich von Bohrungen können zusätzlich zu den gemessenen Widerständen und aufgenommenen Bohrungsdaten auch hydrochemische Analysen genutzt werden. Bohrlöcher haben Priorität, da sie direkte Daten darstellen, während geophysikalische Daten indirekte Daten repräsentieren. Die Interpretation beginnt daher immer mit der Zuordnung von Punkten zu Bohrlöchern und geht anschließend zu den geophysikalischen Daten über.

Die Interpretationspunkte können an Daten (Bohrlöcher oder geophysikalische Daten) angeknüpft („gesnapt“) oder teilweise gesnapt werden. Gesnappte Punkte übernehmen ihre X- und Y-Koordinaten von der Position der Bohrlöcher und die Z-Werte (Höhe) von den Schichtgrenzen, an die sie gesnapt wurden. Gleichzeitig wird den Interpretationspunkten eine „Snap-ID“ zugewiesen, die angibt, an welche Art von Daten der Punkt gesnapt ist.

Einige Punkte werden nicht an eine Schichtgrenze oder direkt an Daten gesnapt, sondern erhalten ihre Z-Werte von der vom Modellierer gewählten Tiefenposition.

Im Beispiel in Abbildung 5 werden Interpretationspunkte für die obere Tonschicht (Quartärton 1) an der Unterkante dieser Tonschicht in allen drei Bohrlöchern platziert. Die Nutzung von geophysikalischen Daten führt im Prinzip zu einer erhöhten Auflösung der Schichtgrenzen. Da in der Regel viel mehr geophysikalische Daten als Bohrlöcher vorhanden sind, kann es vorteilhaft sein, nicht alle erstellten Interpretationspunkte bei der späteren Modellierung zu verwenden. Andernfalls könnte die größere Menge an geophysikalischen Daten dazu führen, dass die Bohrlöcher in den Rasterroutinen weniger berücksichtigt werden.

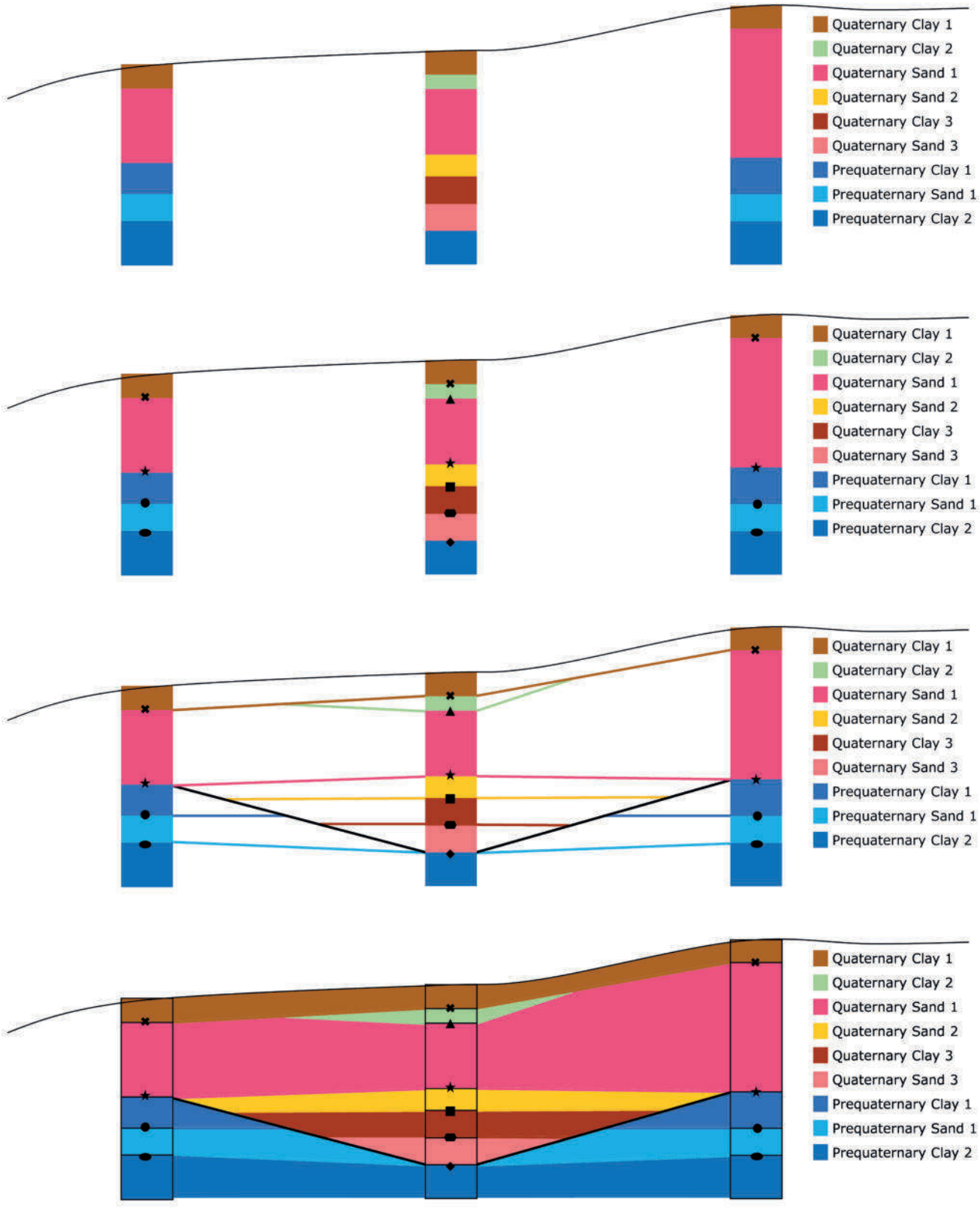
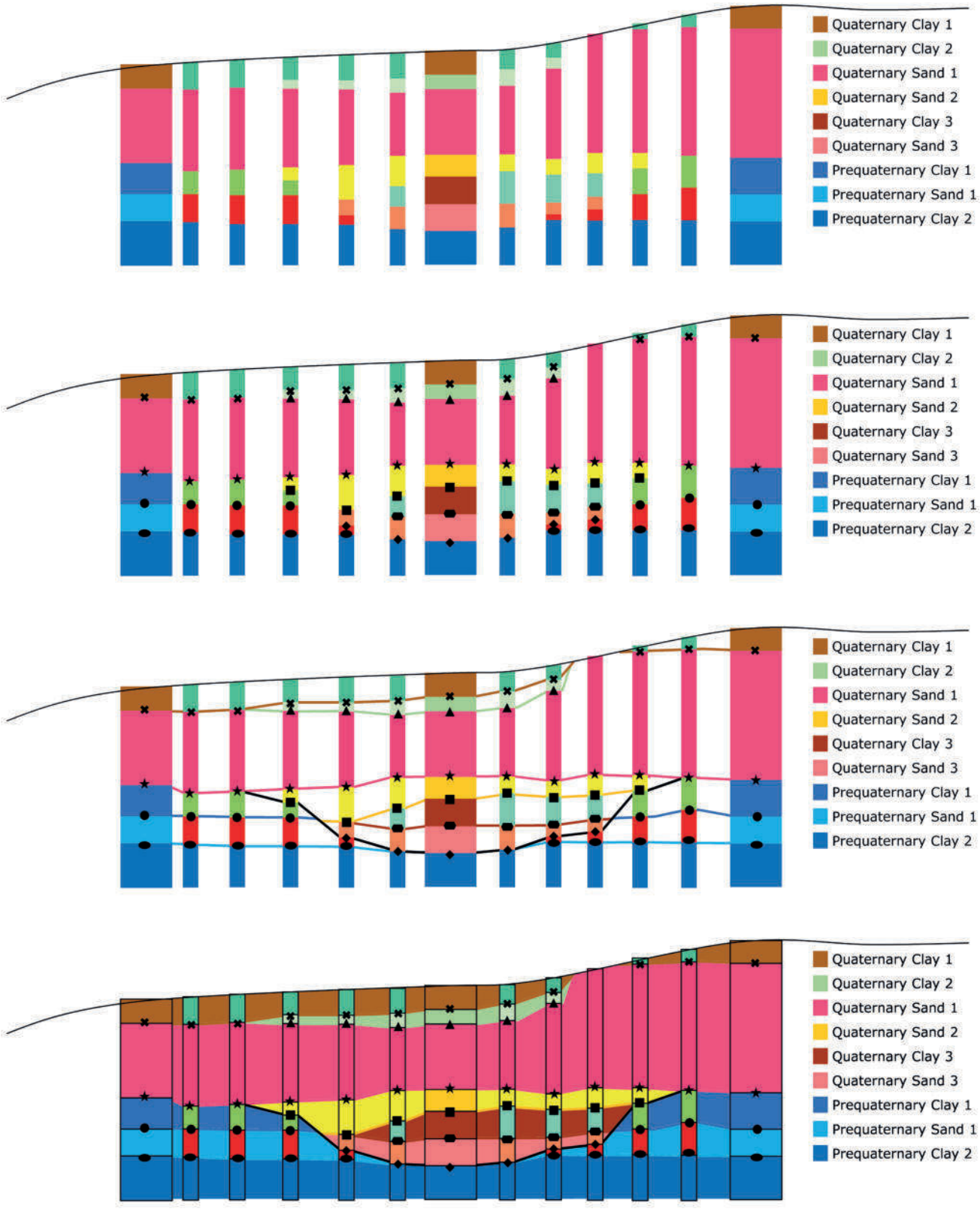


Abb. 5: Schematischer Ablauf geologischer Modellierung aus ausschließlich Bohrungsdaten (links) und einer Kombination aus Bohrungsdaten und geophysikalischen Daten (rechts)

Fig. 5: Schematic sequence of geological modeling using only borehole data (left) and a combination of borehole data and geophysical data (right)


Quaternary Clay 1
Quaternary Clay 2
Quaternary Sand 1
Quaternary Sand 2
Quaternary Clay 3
Quaternary Sand 3
Prequaternary Clay 1
Prequaternary Sand 1
Prequaternary Clay 2

C – Erstellung von Rasterflächen für die Modellschichten

Für jede Modellschicht werden durch Interpolation zwischen den Interpretationspunkten Rasterflächen erstellt. Bei Überlappungen oder sich kreuzenden Rasterflächen werden Qualitätsprüfungen durchgeführt, um diese zu korrigieren. Im Beispiel in Abbildung 5 wird ein Raster mithilfe der Rasterroutinen erstellt. Die schwarze Linie stellt eine interpretierte Oberfläche dar, die die Quartärbasis repräsentiert. Diese Oberfläche hat eine hohe Priorität und überschneidet immer tiefere Schichtgrenzen (Raster), um beispielsweise quartäre Ausräumungszonen darzustellen. Das Raster, das die Unterkante des „Prequaternary Clay 1" repräsentiert, überschneidet in der Praxis die interpretierte Rinnenstruktur im zentralen Teil des Profils. Das Raster der Quartärbasis überdeckt jedoch die Rasteroberfläche des „Prequaternary Clay 1", wodurch die Tonschicht so nach unten gedrückt wird, dass sie exakt mit dem Rasterboden der Quartärbasisschicht übereinstimmt und daher dort nicht präsent ist, wo die Rinnenstruktur modelliert wird.

D – Verbindung der Modellschichtgrenzen

Die Schichtgrenzen werden verbunden, um Schichten mit einer oberen und unteren Grenze zu erstellen. Diese Schichten können symbolisiert werden, um eine feste Schicht mit einer bestimmten Lithologie zu visualisieren. Im Beispiel in der Abbildung 5 wird der Bereich zwischen der Unterkante des Quartärtons 2 und der Unterkante des Quartärsandes 1 als die Schicht Quartärsand 1 betrachtet.

Insgesamt zeigt sich, das dichte geophysikalische Datenerfassungen in Kombination mit der Nutzung vorliegender Bohrungsdaten die Erstellung eines Modells mit einer deutlich höheren Auflösung geologischer Strukturen ermöglicht, als es bei der alleinigen Nutzung von Bohrungen der Fall wäre. Einige Beispiele werden in der Abbildung 5 gezeigt:

1. Es ist möglich, ein geologisches Fenster auf der rechten Seite des Profils zu kartieren. In diesem Bereich sind die Tonschichten 1 und 2 nicht vorhanden. Dies könnte bei vielen Fragestellungen eine kritische Information sein.
2. Eine detailliertere Abgrenzung der zweiten Tonschicht kann erstellt werden, obwohl diese Schicht lediglich in einer einzelnen Bohrung angetroffen worden ist.
3. Eine quartäre Rinnenstruktur in den tieferen Schichten kann präziser abgegrenzt und dessen Füllung kartiert werden.

Es ist jedoch zu beachten, dass die Qualität der Interpretation der geophysikalischen Daten stark von der Anzahl und der Qualität der verfügbaren Bohrungsdaten abhängt. Insbesondere in Gebieten mit variierender Grundwassermineralisation ist es möglich, dass zwei lithologisch unterschiedliche Schichten aufgrund verschiedener Mineralisationen einen sehr ähnlichen Widerstandswert während der geophysikalischen Untersuchung aufweisen. Dies würde ohne entsprechende Bohrinformationen oder bestenfalls vorliegende hydrochemische Analysen zu einer Fehlinterpretation, wie beispielsweise dem Verbinden zweier lithologisch unterschiedlicher Schichten, führen.

6 Ergebnisse

Bei der Untersuchung wurden Widerstandsdaten bis zu einer maximalen Tiefe von etwa 150 m unter Gelände im Bereich des Landesforstes nördlich der Ortschaft Hangelsberg erfasst. Das dichte Netz von Daten hat die Möglichkeit ergeben, die geologischen Einheiten zu kartieren und detaillierte Informationen über die Homogenität, Kontinuität und Ausdehnung jeder Einheit im gesamten Untersuchungsgebiet zu liefern.

Die Ergebnisse liegen in Form eines Berichtes und in einer GeoCloud genannten Cloudsoftwarelösung mit GIS-Funktionalität vor. Die GeoCloud ist eine einfach zu handhabende Webanwendung, mit deren Hilfe ohne weitere Softwareinstallation auf die Untersuchungsergebnisse zugegriffen werden kann. Neben Hintergrunddaten wie der Topografie, dem digitalen Geländemodell, den verwendeten Bohrungsdaten und anderen WMS-Diensten werden in der GeoCloud die Ergebnisse der Untersuchung visualisiert. Die gewonnenen Widerstandsdaten und die daraus abgeleitete Geologie können sowohl in einer 2D-Kartenansicht, in vertikalen und horizontalen Profilschnitten an beliebigen Punkten des Untersuchungsraumes als auch in einer 3D-Ansicht visualisiert werden. Insbesondere die Möglichkeit Profilschnitte an beliebigen Punkten im Untersuchungsgebiet zu erstellen sowie deren Überlagerung mit gemessenen oder interpolierten elektrischen Widerständen ist von großem Nutzen.

In Abbildung 6 sind zwei Profilschnitte (Section 1 und 3) durch das gesamte Untersuchungsgebiet, die in der GeoCloud erstellt worden sind, mit gemessenen Widerstandsdaten beispielhaft dargestellt. Im oberen Bereich der Profilschnitte sind in Rot und Lila relativ hohe Widerstände erkennbar, welche die oberen beiden Grundwasserleiterkomplexe (GWLK) repräsentieren. Der blaue bzw. dunkelblaue Bereich im Profilschnitt 1 repräsentiert die bindige Sedimentfüllung der Eberswalde-Storkow-Rinne. Da in beiden Profilen nur die tatsächlich gemessenen Werte dargestellt werden, gibt es Bereiche, die aufgrund von Störfaktoren verworfene Daten enthalten und somit keine farbige Darstellung der Widerstände aufweisen.

Insgesamt weisen die Ergebnisse zum Untersuchungsgebiet den für Brandenburg typischen Aufbau des Untergrundes im Bereich des süßwasserführenden Lockergesteins mit den GWLK 1 bis 3 auf. Darüber hinaus wurde im zentralen Bereich der Verlauf und die Füllung der Eberswalde-Storkow-Rinne kartiert. Beim genauen Vergleich des im Zuge der Projektarbeiten erstellten 3D-Modells mit den beim LBGR vorliegenden Karten und Profilschnitten des Gebietes nördlich von Hangelsberg fallen jedoch einige Abweichungen auf:

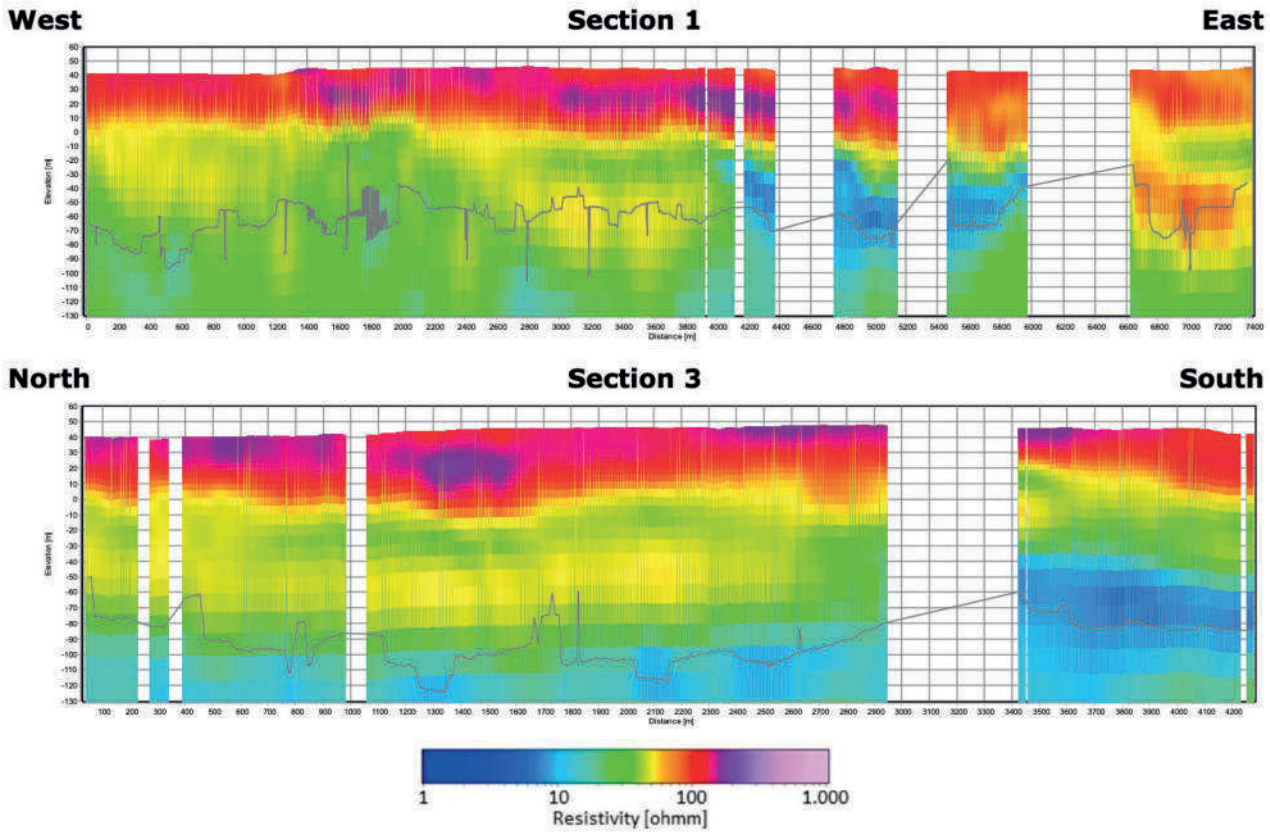


Abb. 6: Profilschnitte durch das Untersuchungsgebiet Hangelsberg mit eingeblendeten Widerstandswerten
Fig. 6: Cross-sections through the Hangelsberg survey area with resistance values displayed

- Der Verlauf der Rinne durch das Untersuchungsgebiet weicht im Detail, insbesondere im nördlichen Bereich leicht von der Quartärbasiskarte ab. Die Tiefenlage und der genaue Verlauf der Quartär-/Tertiärgrenze konnte spezifiziert werden. Die Lage und der Verlauf der Rinne sind aufgrund der bindigen Rinnenfüllung anhand der in Abbildung 7 dargestellten geringen Widerstände (blau) ersichtlich.
- Die Füllung der Rinne ist im 3D-Modell deutlich detaillierter aufgelöst und stellt mehrere Zwischenstauer, Sandlinsen und den Wechsel von GWL und Stauern dar.
- Die durchgehende Verbreitung eines Grundwasserstauers zwischen GWLK 1 und GWLK 2 im hydrogeologischen Profilschnitt des LBGR (Blatt L3548 Strausberg, Schnitt 5810), konnte nicht bestätigt werden. Dies war zwar bereits aufgrund neuerer Bohrungsdaten bekannt, die Ausbreitung des hydraulischen Fensters zwischen den beiden GWLK konnte mit der geophysikalischen Untersuchung jedoch genau bestimmt werden.

Über die genannten Punkte hinaus gibt es auch noch die Möglichkeit Informationen zum Thema Grundwasserversalzung zu gewinnen. Das erstellte 3D-Modell untermauert die Annahme, dass ein Aufstieg geogen-salinarer Tiefenwässer über den zentralen Rinnenbereich nicht möglich ist, da in diesem Bereich eine mächtige, bindige Rinnenfüllung verbreitet ist, die im gesamten Untersuchungsraum keine Fehlstellen aufweist. Die gewonnenen Daten deuten jedoch darauf hin, dass aufgrund des hydraulischen Kontaktes zwischen quartären und tertiären GWL und der geringeren Mächtigkeit der Stauer im Rinnenrandbereich die Ausbildung einer salinaren Aufstiegsbahn möglich ist (s. Abb. 8). Diese These ist anhand der hydrochemischen Analysen an der im westlichen Rinnenrandbereich gelegenen GWM Hy Fu 2/90 durch erhöhte Chlorid-Konzentrationen belegt. Da die Gesamtmineralisation des geogen-salinar beeinflussten Grundwassers im Bereich dieser GWM jedoch mit Chlorid-Werten noch unterhalb des TVO-Grenzwertes von 250 mg/l nicht stark erhöht ist und sich mit zunehmender Entfernung aufgrund des Verdünnungseffektes weiter verringert, ist es nachvollziehbar, dass die resultierenden niedrigen Widerstandswerte im Modell nur über eine geringe Entfernung verfolgt werden können. Weitere Anomalien niedriger Widerstände im Untersuchungsraum konnten nicht beobachtet werden. Aus diesem Grund wird derzeit davon ausgegangen, dass es sich, zumindest bis zur maximalen Untersuchungstiefe von ca. 150 m unter Gelände, bei dem Gebiet um die GWM Hy Fu 2/90 um den einzigen Bereich im Untersuchungsgebiet handelt, über den ein Aufstieg geogen-salinarer Tiefenwasser möglich ist.

Hydrochemische Analysen entlang der Spree bei Hangelsberg legen jedoch nahe, dass im Bereich der Eberswalde-Storkow-Rinne direkt unterhalb oder südlich der Spree weitere Aufstiegszonen geogen-salinarer Tiefenwasser existieren müssen.

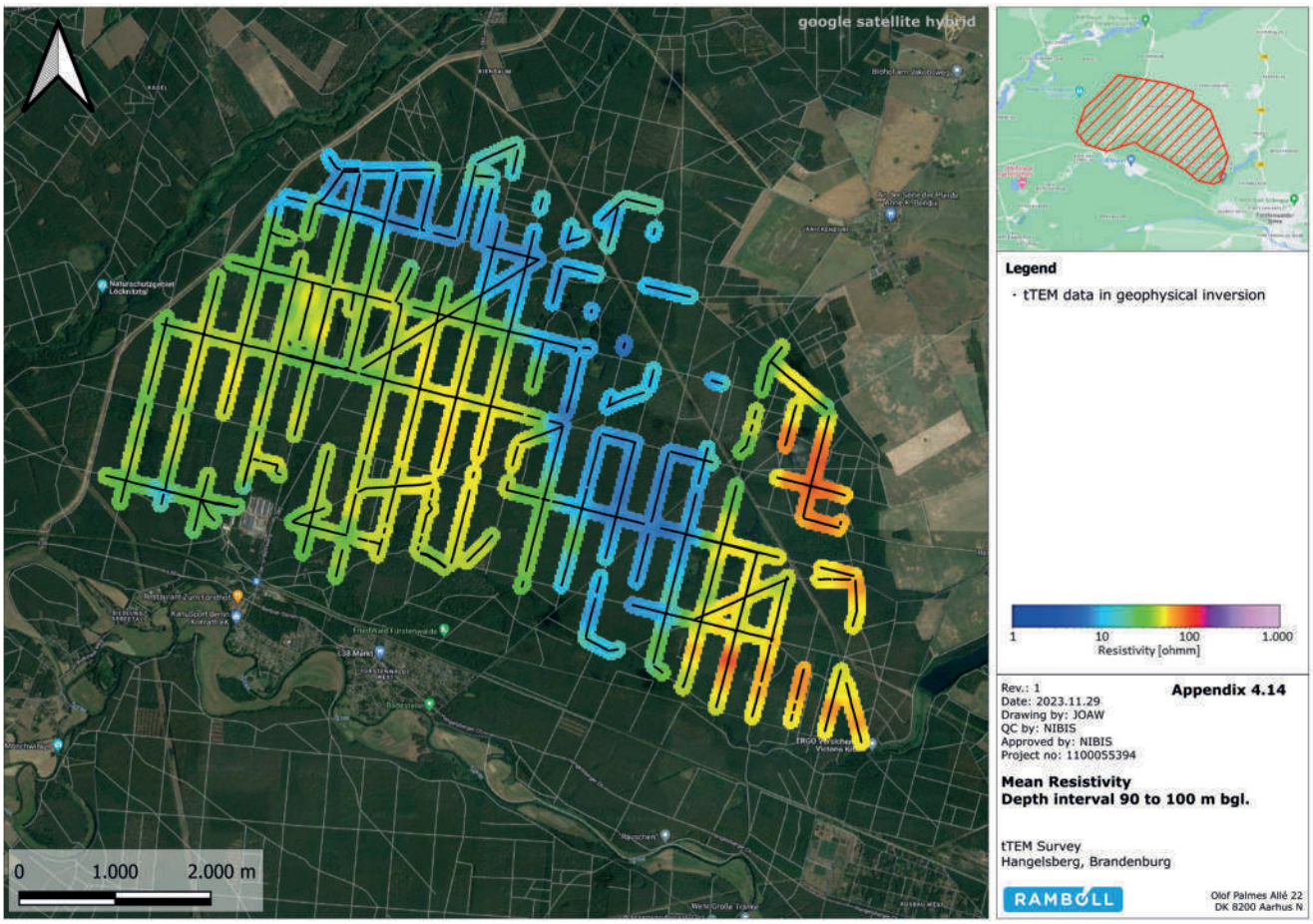


Abb. 7: *2D-Kartenansicht des Untersuchungsgebietes mit gemessenen Widerständen. Die Lage der Eberswalde-Storkow-Rinne ist anhand der (blauen) niedrigen Widerstandswerte ersichtlich.*

Fig. 7: *2D map view of the study area with measured resistances. The location of the Eberswalde-Storkow-Rinne can be seen from the (blue) low resistance values.*

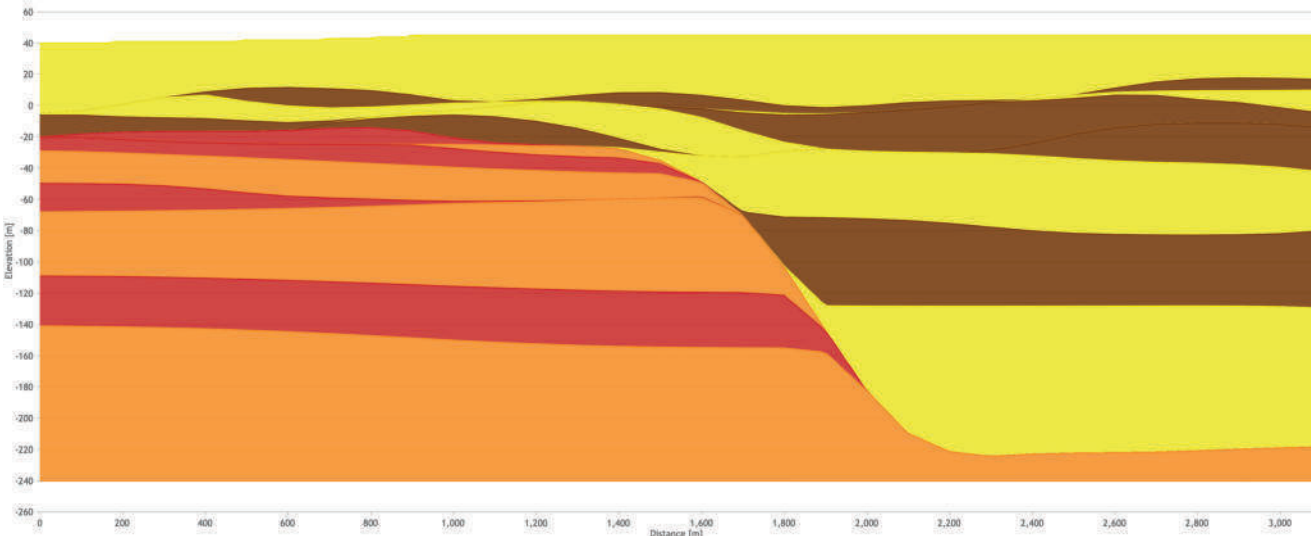


Abb. 8: *West-Ost-Profilschnitt des 3D-Geologiemodells am Rinnenrand im nördlichen Bereich des Untersuchungsgebietes. Abgebildet sind die quartären (gelb) und tertiären (orange) Grundwasserleiter sowie die quartären (braun) und tertiären (rot) Grundwasserstauer.*

Fig. 8: *West-east cross-section of the 3D geological model at the channel margin in the northern part of the survey region. The Quaternary (yellow) and Tertiary (orange) aquifers and the Quaternary (brown) and Tertiary (red) aquicludes are shown.*

Zusammenfassung

Ziel des Projekts war es, mithilfe des geophysikalischen tTEM-Verfahrens die geologische Struktur und potenzielle Fließpfade geogen-salinarer Tiefenwässer im Bereich nördlich von Hangelsberg auch in Hinblick auf eine potentielle Grundwassernutzung zu untersuchen. Das Untersuchungsgebiet liegt im Bereich der Eberswalde-Storkow-Rinne, bei deren Anlage der Rupelton als Trennschicht zwischen dem Süß- und dem Salzwasserstockwerk stellenweise vollständig ausgeräumt wurde. Mittels tTEM-Messungen konnten bis in ca. 150 m Tiefe detaillierte Widerstandsdaten gewonnen werden, aus denen ein hochauflösendes 3D-Untergrundmodell erstellt wurde. Die Ergebnisse zeigen, dass im zentralen Bereich der Eberswalde-Storkow-Rinne ein mächtiger bindiger Grundwasserstauer den Aufstieg salinarer Tiefenwässer verhindert. Jedoch wurde am westlichen Rinnenrand bei der GWM Hy Fu 2/90 ein möglicher Aufstiegsbereich mit erhöhten Chlorid-Werten festgestellt. Weitere Aufstiegszonen direkt unterhalb oder südlich der Spree werden vermutet, konnten aber im Untersuchungsgebiet nicht bestätigt werden. Das Projekt lieferte zudem eine deutlich präzisere Kartierung der Rinnenstruktur und ihrer Füllung im Vergleich zu bisherigen Erkenntnissen. Die Ergebnisse in Form des 3D-Geologie Modells können über einen Zugang zur GeoCloud auf Anfrage beim LBGR eingesehen werden

Summary

The aim of the project was to investigate the geological structure and potential flow paths of geogenic-saline deep groundwater north of Hangelsberg using the geophysical tTEM method, also with regard to potential groundwater use. The investigation area is located in the area of the Eberswalde-Storkow-Rinne, a subsurface channel, where the rupel clay as a separating layer between the freshwater and saltwater aquifers was completely eroded in places. Using tTEM measurements, detailed resistivity data was obtained down to a depth of approx. 150 m, from which a high-resolution 3D subsurface model was created. The results show that in the central area of the Eberswalde-Storkow-Rinne, a thick cohesive groundwater barrier prevents the rise of saline deep groundwater. However, a possible upwelling zone with elevated chloride values was identified at the western edge of the subsurface channel at the Hy Fu 2/90 monitoring well. Further upwelling zones directly below or south of the Spree are suspected, but could not be confirmed in the survey area. The project also provided a much more precise mapping of the channel structure and its filling compared to previous knowledge. The results, in the form of the 3D geological model, can be accessed upon request from the LBGR via the GeoCloud platform.

Literatur

Baumann, K., Burde, B. & C. Liebau (2004): Monitoringmethoden für Wasserwerksstandorte mit Salzwassergefährdung.– bbr Leitungsbau|Brunnenbau|Geothermie **11**, S. 30–37

HGN & GCI (2023): Abschlussbericht zur Hydrogeologischen Vorerkundung zur Erschließung einer Trinkwasserfassung am Standort Hangelsberg. – 36 S., Henningsdorf (unveröff.)

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

Viezzoli et al. (2008): Quasi-3D modeling of airborne TEM data by spatially constrained inversion. – Geophysics, Vol. 73, No. 3, S. 105 - 113

Anschrift des Autors:

Tino Rosin
Landesamt für Bergbau, Geologie
und Rohstoffe Brandenburg
Abteilung 2 – Geologischer Dienst
Inselstraße 26
03046 Cottbus

Aus den laufenden Arbeiten des Geologischen Dienstes: Beprobung warmzeitlicher Seeablagerungen mit bisher ungeklärtem Alter im Bereich des Kieswerkes Zeischa (Elbe-Elster) – thematisiert im Wetterbericht von rbb24 Brandenburg aktuell am 15.09.2025 (Foto: S. Kowalski 15.09.2025).

Brandenburg. Geowiss. Beitr.	Cottbus	Bd. 32/2025	S. 69–80	4 Abb., 56 Lit.

Geologisches 3D-Modell der Lausitz – Aufbau eines länderübergreifenden Modells der känozoischen Schichtenfolgen

Geological 3D model of the Lausitz – development of a transnational model of the Cenozoic sequences

Sophia Rütters, Sascha Schmidt, Daniel Franke-Laske, Marlen Knoblauch-Sassenscheidt & Leonie Graffmann

1 Ziele des 3D-Modells

Im Zeitraum von 150 Jahren ist im Lausitzer Braunkohlenrevier durch den Bergbau eine Kulturlandschaft entstanden, welche in höchstem Maße menschlicher Steuerung unterliegt. Mit der Verabschiedung des Kohleverstromungsbeendigungsgesetzes (KVBG) rücken unterschiedliche Fragestellungen in den Mittelpunkt. Für den geotechnischen und hydrogeologischen Fokus ist es von elementarer Bedeutung, dass die geologischen Verhältnisse überregional detailliert erkundet und modelliert sind. Diese Modellierung ist bisher nicht erfolgt, was die Notwendigkeit des Vorhabens verdeutlicht. Daher erstellen die Staatlichen Geologischen Dienste Sachsens und Brandenburgs auf der Grundlage neuer und vorhandener Fachinformationen ein länderübergreifendes geologisches 3D-Modell der Lausitz.

Das geologische 3D-Modell wird die gesamten Tagebau- und Alttagebaubereiche der Lausitz sowie die bisher nachrangig betrachteten Zwischenbereiche umfassen (Abb. 1). Mittels des geologischen Strukturmodells werden die Stratigraphie und Lithologie der quartären und tertiären Schichtenfolge der Region hinsichtlich ihrer räumlichen Verbreitung dargestellt. Das so entstehende 3D-Modell bildet die Grundlage für weitere Modellierungen, wie beispielsweise für geotechnische Fragestellungen und oberflächennahe Geothermie und Grundwasserströmungsmodelle für die länderübergreifende Grundwasserbewirtschaftung in Sachsen und Brandenburg.

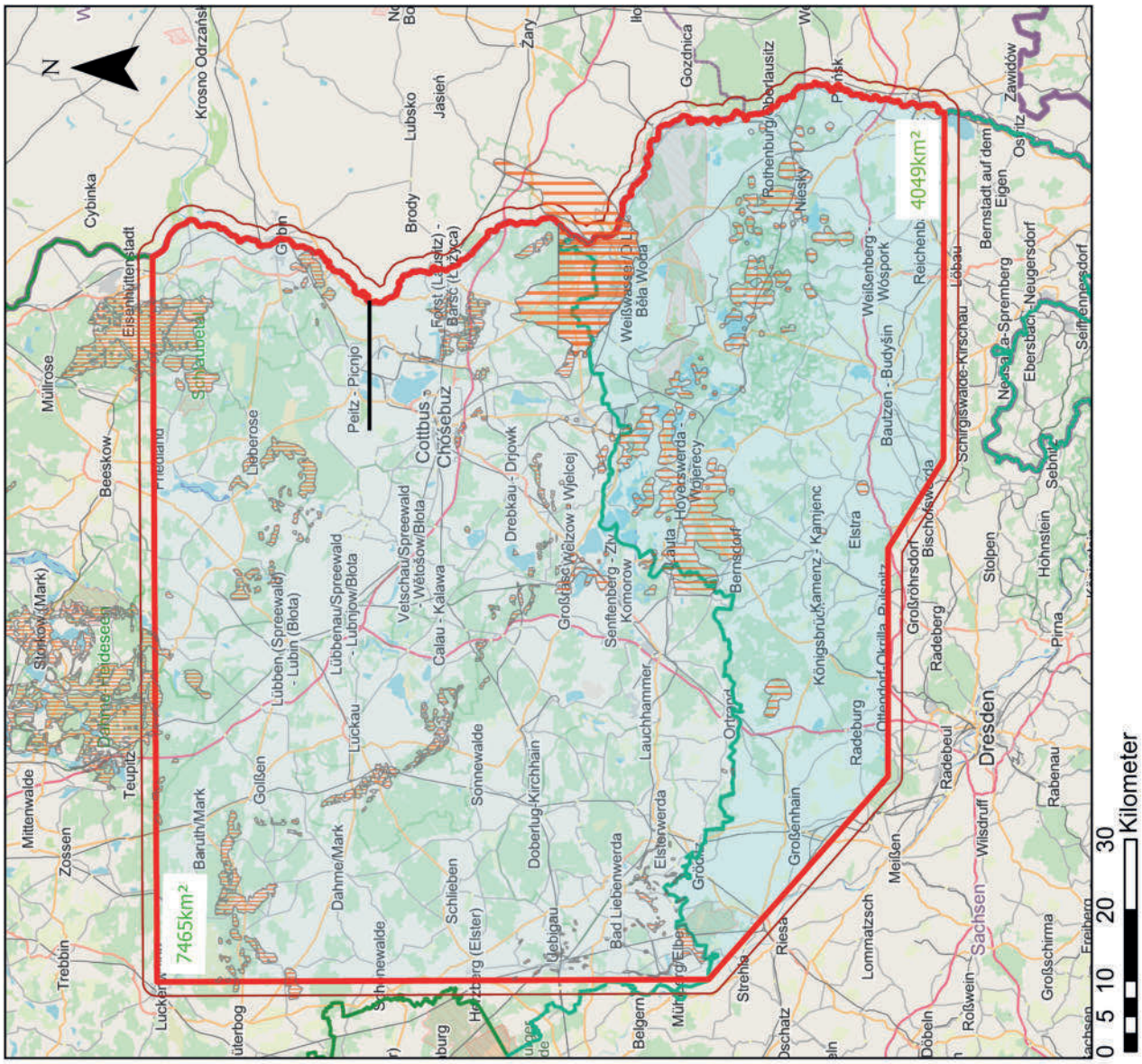
Darüber hinaus werden die Erfahrungen und die konkreten Arbeitsabläufe bei der Erstellung des 3D-Modells genutzt, um umfassende, landesweite Strukturmodelle zu erstellen.

2 Regionalgeologie

Die Geologie des Untersuchungsgebietes ist gekennzeichnet durch mächtige tertiäre Ablagerungen, welche von quartären Ablagerungen überdeckt und von tiefen quartären Rinnen durchschnitten werden. Die in Teilen mehr als 200 m mächtigen känozoischen Schichten lagern über einer nach Norden abtauchenden prätertiären Festgesteinsoberfläche. Die tertiären Ablagerungen bildeten sich in Folge mehrmaliger Wechsel mariner Trans- und Regressionen, paralischer Vermoorungen und terrestrischer Schüttungen. Im Quartär entstand durch glazigene Prozesse eine flachwellige Becken- und Moränenlandschaft und Ost-West-verlaufende Urstromtäler. Die heutigen Flussauen von Schwarzer Elster, Spree und Neiße entstanden im Weichselspätglazial; Abb. 2).

2.1 Prätertiär

Der prätertiäre Untergrund der Lausitz ist geologisch durch zwei unterschiedlich alte Teilbereiche charakterisiert – das Hebungsgebiet des Saxothuringikums im Südwesten und den Randbereich der Norddeutsch-Polnischen Senke im Nordosten. Die Grenze zwischen beiden Einheiten wird durch die Störungszone des Lausitzer Hauptabbruchs und seiner Verlängerungen als Bestandteil der Mitteldeutschen Hauptabbrüche gebildet. Das Grundgebirge der Lausitz besteht aus Gesteinen, die durch drei Gebirgsbildungsphasen geprägt wurden: Die cadomische, kaledonische und variszische Orogenese. Die ältesten Gesteine der Lausitz, turbiditische Grauwacken, gehören zur Lausitz-Gruppe (Linnemann et al. 2003). Vom Zechstein bis zur Kreide bildeten sich, besonders im Bereich der Norddeutsch-Polnischen Senke, Sedimente unter regressiven und transgressiven Verhältnissen, welche unter dominant flach- aber auch vollmarinen und terrestrischen Bedingungen abgelagert wurden. Die marin beeinflussten Schichtenfolgen zeichnen sich durch Sedimentation von Sand, Ton, Mergel und Kalk-



Geologisch-hydrogeologisches Strukturmodell Lausitz: Übersicht Modellgebiet

- Untersuchungsgebiet
- Muskauer Faltenbogen ergänzt aus LKT
- glazigen-gestörte Bereiche in Brandenburg
- glazigen-gestörte Bereiche in Sachsen nach LKT
- Profillinie Peitz-Guben

Quellenvermerk: CC BY 4.0: © GeoBasis-DE / BKG (2025) CC BY 4.0; © BKG (2025) dl-de/by-2-0, Datenquellen: https://sgx.geodatenzentrum.de/web_public/gdz/datenquellen/datenquellen_topplusopen_23.05.2025.pdf; GeoBasis-DE / LGB, Esri, TomTom, Garmin, FAO, NOAA, USGS; Map data © OpenStreetMap contributors, Microsoft, Facebook, Inc. and its affiliates, Esri Community Maps contributors, Map layer by Esri; LKT_2016: Geomontan im Auftrag des LfULG, Abschlussbericht Erarbeitung digitaler Horizontkarten Tertiär Lausitz 1:50 000, 2016

Abb. 1:
Übersicht zur geographischen Lage des 11 514 km² großen Untersuchungs- und Modellgebietes.
Die Fläche verteilt sich auf Brandenburg (7 465 km²) und Sachsen (4 049 km²).
Im Nordosten verläuft die Profillinie des generalisierten geologischen Profils (Abb. 2).
Zentral im Osten liegt der Muskauer Faltenbogen, der anteilig die größte glazitektonisch beeinflusste Struktur im Untersuchungsgebiet darstellt. Die Daten zu den glazigen-gestörten Bereichen entstammen dem geologischen Dienst Brandenburg und der Lithofazieskarte Tertiär Sachsen (LKT; Escher et al. 2020).

Fig. 1:
Overview of the geographical location of the 11 514 km² study area.
The area is divided between Brandenburg (7 465 km²) and Saxony (4 049 km²).
The profile line of the generalized geological section runs to the northeast (Fig. 2).
The Muskauer Faltenbogen is located in the central east of the area and is proportionally the largest glacitectonically influenced structure in the study area. The data on the glacially faulted areas are taken from the Brandenburg Geological Survey and the Lithofacies Map Tertiary Sachsen (LKT; Escher et al. 2020).

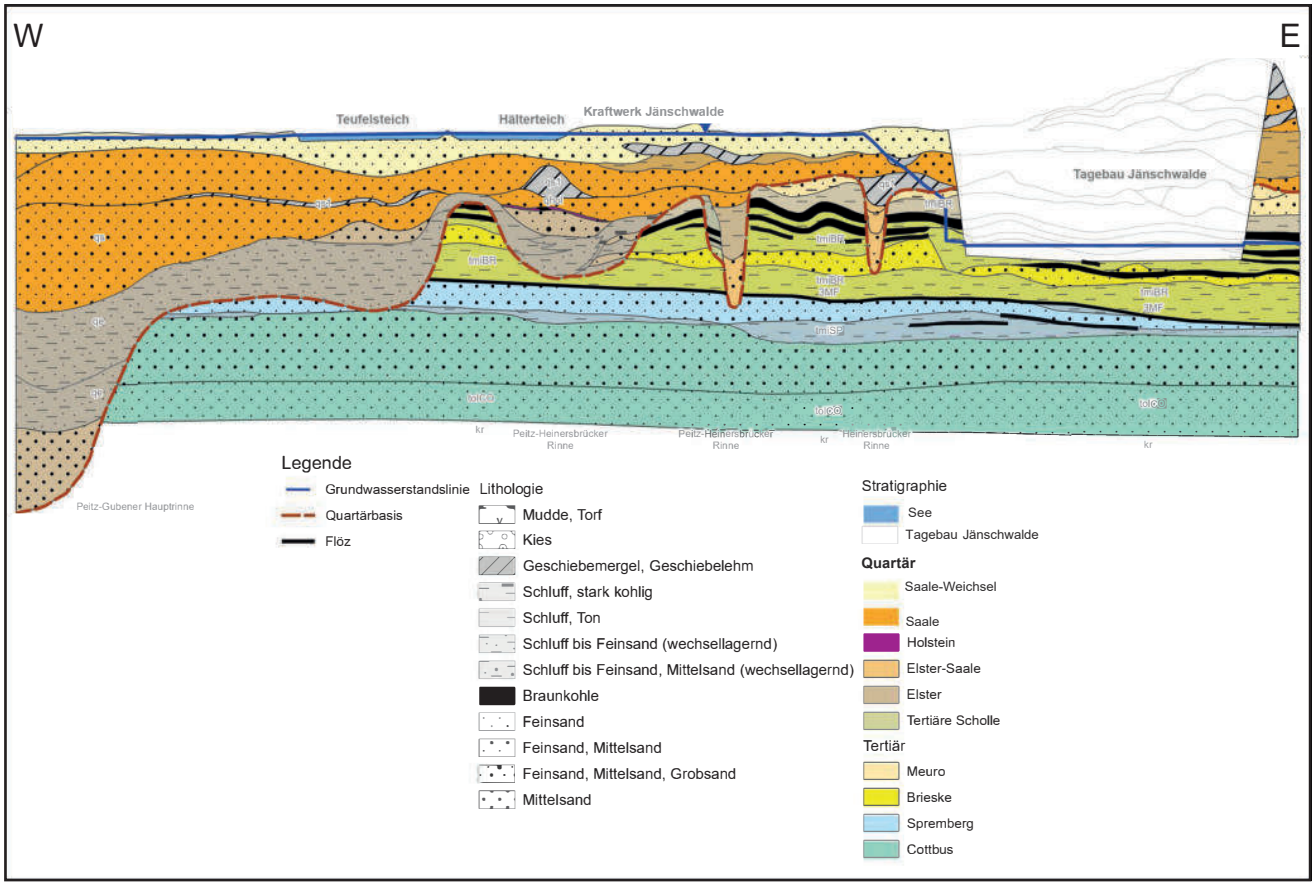


Abb. 2: Der geologische Schnitt zeigt die generalisierte känozoische Schichtenfolge im Modellgebiet einschließlich der bergbaulichen Beeinflussung. Die einzelnen Einheiten sind entsprechend ihrer stratigraphischen Zuordnung und der charakteristischen Lithologien dargestellt. Die wichtigsten Orientierungshorizonte sind die Quartärbasis sowie die Braunkohlenflöze (Bearbeitung basierend auf dem hydrogeologischen Ost-West-Schnitt 5745, Blatt L4152 Peitz/Guben des LBGR).

Fig. 2: The geological section shows the generalized Cenozoic succession within the model area, including the mining influence. The individual units are shown according to their stratigraphic classification and characteristic lithologies. The most important orientation horizons are the Quaternary base and the lignite seams (Processing based on the hydrogeological east-west section 5745, sheet L4152 Peitz/Guben of the LBGR).

stein aus, die stellenweise in evaporitische Ablagerungen übergehen. Im Gegensatz dazu sind in den kontinentalen Schichtfolgen klastische Sedimente, wie der Buntsandstein, sowie Paläoböden, insbesondere im Keuper, erhalten. Detaillierte Studien zu diesem präkänozoischen Grundgebirge sind in den Arbeiten von Göthel & Elicki (1996), Göthel (2001) sowie Krentz et al. (2010) zu finden.

2.2 Tertiär

Die Tertiärsedimente der Lausitz wurden am Südrand der Nordwesteuropäischen Tertiärsenke abgelagert (Vinken 1988). Diese Region war von der „Paläo-Nordsee" beeinflusst, wobei die Dynamik von eustatischen und klimatisch bedingten Meeresspiegelschwankungen eine zentrale Rolle bei der Sedimentation spielte (Abb. 3; Standke et al. 2002; Standke 2006, 2010). In N–S gerichteten transgressiven Phasen kam es zur Ablagerung mariner Sedimente, während in regressiven Phasen terrestrische Sedimente aus dem Süden eingetragen wurden. Entlang des Küstensaums bildeten sich Küstenmoore, die zur Bildung der Lausitzer Braunkohlenflöze führten. Die Torfbildung fand sowohl während transgressiver [3. Miozäner Flözkomplex (MFK); Standke 2006] als auch regressiver Phasen (1., 2. und 4. MFK; Geissler et al. 1987) statt.

In der flachen Küstenebene zeigen sich diese Meeresspiegelschwankungen durch ausgeprägte räumliche und zeitliche Fazieswechsel. Bereits geringe relative Meeresspiegelanstiege führten zu weiträumigen Überflutungen. Die beobachteten Transgressions- und Regressionszyklen lassen sich im Rahmen der Sequenzstratigraphie den globalen eustatischen Meeresspiegelschwankungen nach Haq et al. (1987), Haq, Hardenbol & Vail (1988) sowie Hardenbol et al. (1998) zuordnen (vgl. Abb. 3).

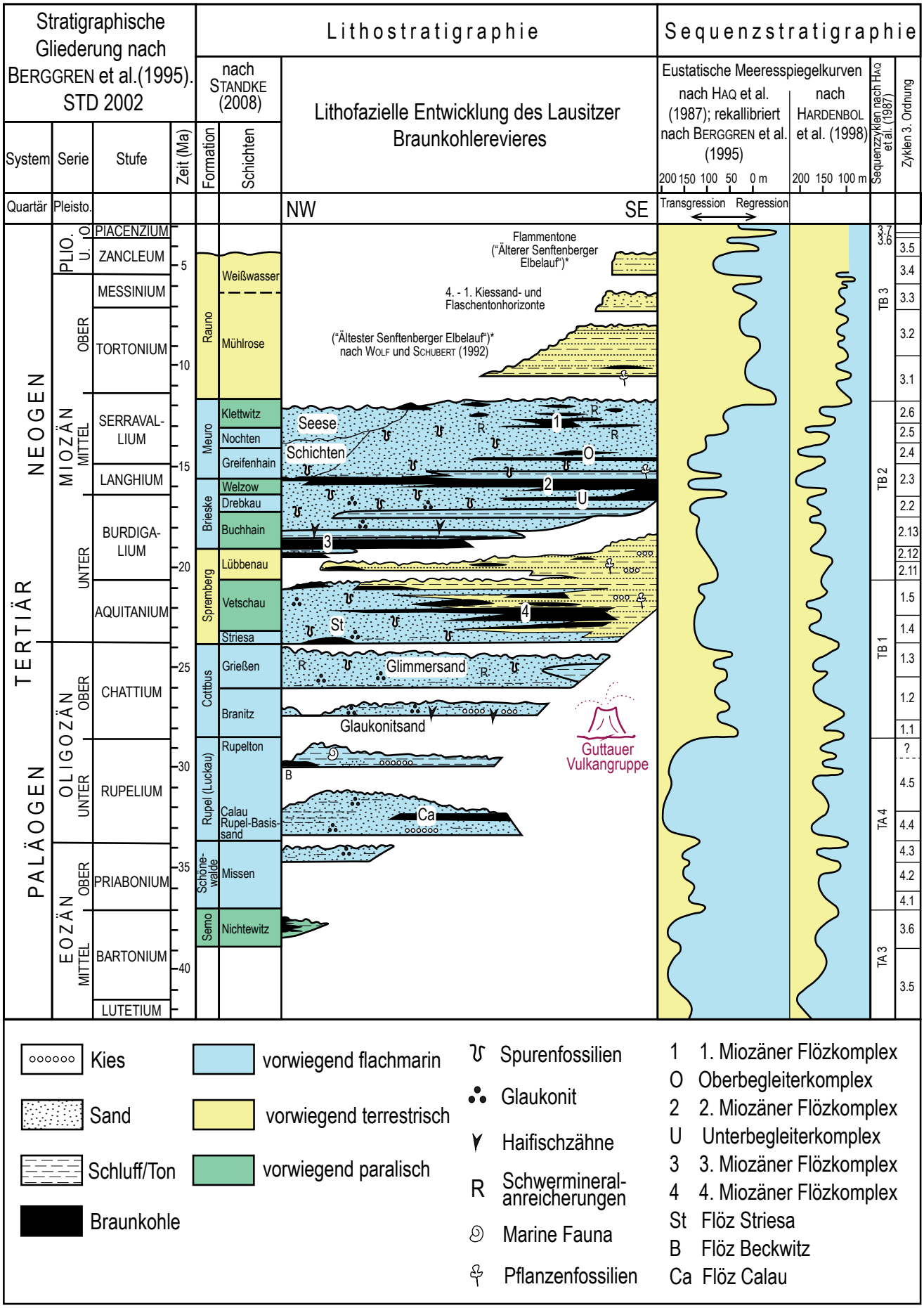
Die Ursachen der Meeresspiegelschwankungen sind neben großräumigen geodynamischen Prozessen, wie der alpidischen Orogenese und der Öffnung des Nordatlantiks (Seifert et al. 1989), auch intrakontinentale tektonische Bewegungen, wie relative Vertikalbewegungen von Blockeinheiten im Bereich des Saxothuringikums (Brause 1990). Des Weiteren spielen klimatische Extremphasen, insbesondere die Auswirkungen von Inlandvereisungen im Raum Nordeuropas ab dem Miozän, eine entscheidende Rolle (Ludwig 2015).

Die in Südostbrandenburg und Nordostsachsen nachgewiesenen Sedimentabfolgen lassen sich gemäß Standke (2010) sequenzstratigraphischen Zyklen zuweisen. Diese hochauflösenden Sequenzen (Zyklen bis 3. Ordnung) bieten eine Grundlage für die detaillierte Rekonstruktion der regionalen Ablagerungsverhältnisse im Bearbeitungsgebiet (vgl. Abb. 3).

Die Ablagerungen der Lausitz reichen von etwa 28 Ma (Rupel) bis 4–5 Ma (Unterpliozän). Die Ablagerungen des Paläozän bis Unteroligozän fehlen im Bearbeitungsgebiet der Lithofazieskarte Tertiär (LKT) 1 : 50 000, wo die Tertiärabfolge mit den marinen Sanden der Cottbus-Formation beginnt (Escher et al. 2020). Der bedeutendste Teil der Tertiärsedimente in der Lausitz wird durch die miozänen Schichtenfolgen geprägt. Sie bestehen aus einem Wechsel von marin-brackischen Sanden, Schluffen und Tonen, terrestrischen hellen Tonen und Sanden sowie wiederholten Kohlebildungen (1. bis 4. MFK), was den Einfluss der Meeresspiegelschwankungen reflektiert (Standke 2010). Der 2. MFK stellt in der gesamten Lausitz das wichtigste lagerstättenbildende Hauptflöz dar. In den jüngeren, obermiozänen bis pliozänen Ablagerungen wurden zudem tertiäre Schotter ehemaliger Elbeläufe nachgewiesen, darunter die Raunoer Kiessande des „Ältesten Senftenberger Elbelaufs" und die Kiese der Schichten von Weißwasser, die dem „Älteren Senftenberger Elbelauf" zugeordnet werden (Wolf & Schubert 1992; Wolf & Alexowsky 2008). Die Tertiärsedimente sind im nördlichen Teil des Modellgebietes weit verbreitet, während der südliche Teil der Oberlausitz von kleineren, oft isoliert vorkommenden Tertiärvorkommen, den sogenannten „Randbecken", geprägt ist. Diese stellen Erosionsrelikte dar, die von südlichen Ausläufern des ursprünglich flächendeckend vorhandenen Tertiärs übriggeblieben sind. Darin finden sich oberflächennah Braunkohlenflöze, meist dem 2. MFK und seinen Äquivalenten zugeordnet, sowie Tone, Sande und Kaoline (Standke & Strauss 1991; Standke 1998, 2006, 2008). Eine geologische Besonderheit bildet die Guttauer Vulkangruppe im Süden des Bearbeitungsgebietes (Region Großdubrau), die drei Maare und mindestens vier Schlotkegel umfasst (Büchner, Suhr & Tietz 2017). Ihre aktive Phase konzentrierte sich laut Suhr (2003) und Pfeiffer & Suhr (2008) vorwiegend auf das Oligozän, ist jedoch auch im Miozän nachweisbar (vgl. Escher et al. 2020)

Abb. 3:
Lithostratigraphisches Korrelationsschema (nach Standke 2010) und sequenzstratigraphische Gliederung (nach Haq et al. 1987 und Hardenbol et al. 1998) des Lausitzer Tertiärs mit stratigraphischer Abgrenzung der geologischen Einheiten nach Escher (2020). Die stratigraphische Gliederung des Tertiärs erfolgte nach Berggren et al. (1995) und der Stratigraphischen Tabelle Deutschland (STD 2002).

Fig. 3:
Lithostratigraphic correlation scheme (after Standke 2010) and sequence-stratigraphic organization (after Haq et al. 1987 and Hardenbol et al. 1998) of the Lusatian Tertiary with stratigraphic delimitation of the geological units after Escher (2020). The stratigraphic classification of the Tertiary was based on Berggren et al. (1995) and the Stratigraphic table for Germany (STD 2002).


Stratigraphische Gliederung nach BERGGREN et al.(1995). STD 2002
Lithostratigraphie
nach STANDKE (2008)
Lithofazielle Entwicklung des Lausitzer Braunkohlerevieres
Sequenzstratigraphie
Eustatische Meeresspiegelkurven nach HAQ et al. (1987); rekallibriert nach BERGGREN et al. (1995)
nach HARDENBOL et al. (1998)
Sequenzzyklen nach HAQ et al. (1987)
Zyklen 3. Ordnung
System
Serie
Stufe
Zeit (Ma)
Formation
Schichten
NW
SE
Transgression
Regression
Quartär
Pleisto.
NEOGEN
TERTIÄR
PALÄOGEN
PLIO. U. O
MIOZÄN
OBER
MITTEL
UNTER
EOZÄN
OLIGOZÄN
PIACENZIUM
ZANCLEUM
MESSINIUM
TORTONIUM
SERRAVAL-LIUM
LANGHIUM
BURDIGA-LIUM
AQUITANIUM
CHATTIUM
RUPELIUM
PRIABONIUM
BARTONIUM
LUTETIUM
Rauno
Weißwasser
Mühlrose
Meuro
Klettwitz
Nochten
Greifenhain
Brieske
Welzow
Drebkau
Buchhain
Spremberg
Lübbenau
Vetschau
Striesa
Cottbus
Grießen
Branitz
Rupel (Luckau)
Rupelton
Calau Rupel-Basis-sand
Schöne-walde
Missen
Senno
Nichtewitz
Flammentone ("Älterer Senftenberger Elbelauf")*
4. - 1. Kiessand- und Flaschentonhorizonte
("Ältester Senftenberger Elbelauf")* nach WOLF und SCHUBERT (1992)
Seese Schichten
Glimmersand
Glaukonitsand
Guttauer Vulkangruppe
TB 3
TB 2
TB 1
TA 4
TA 3
Kies
Sand
Schluff/Ton
Braunkohle
vorwiegend flachmarin
vorwiegend terrestrisch
vorwiegend paralisch
Spurenfossilien
Glaukonit
Haifischzähne
Schwermineral-anreicherungen
Marine Fauna
Pflanzenfossilien
1 1. Miozäner Flözkomplex
O Oberbegleiterkomplex
2 2. Miozäner Flözkomplex
U Unterbegleiterkomplex
3 3. Miozäner Flözkomplex
4 4. Miozäner Flözkomplex
St Flöz Striesa
B Flöz Beckwitz
Ca Flöz Calau

2.3 Quartär

In Südbrandenburg sind die quartären Ablagerungen weit verbreitet und von einer komplexen, glazigen geprägten Schichtenfolge beeinflusst. Das Basisrelief steigt von Nord nach Süd an und zeigt Inselhochlagen sowie markante Rinnenstrukturen (Cepek 1967; Kupetz et al. 1989). In den Hochlagen sind tertiäre Schichten bis über +130 m NHN erhalten, während in den tiefen Rinnen die Quartärbasis unter -150 m NHN fällt und teils den prätertiären Untergrund erreicht (Hannemann & Radtke 1961). Das Fehlen von Ablagerungen aus der frühen Elster-Kaltzeit deutet auf tiefenwirksame Erosion und flächenhafte Abtragungen hin (Lippstreu 1995; Kühner 1991; Kupetz 1997). Südlich der Linie Luckau-Cottbus-Guben existieren schmale Rinnenstrukturen mit variierenden Füllungen aus Schmelzwassersanden, Kiesen und Moränenmaterial (Nowel 1983; Kupetz et al. 1989). In den Hochlagen sind in Südbrandenburg prätertiäre Sedimente nur als Relikte erhalten (Grahmann 1933; Wolf 1980). Während der Elster-Kaltzeit war Brandenburg vom skandinavischen Inlandeis bedeckt, das die Landschaft stark umgestaltete. In der Oberlausitz sind zwei elsterzeitliche Geschiebemergel bekannt (Präger 1976; Schubert 1977). Diese treten hauptsächlich als deckenförmige Grundmoränenreste auf, die in Mächtigkeiten von bis zu 12 m vorkommen können (Lippstreu 1995). Die Geschiebemergel weisen häufig kohlige Partikel sowie Schlieren aus Ablagerungen der Rauno-Formation auf. Der Kleingeschiebebestand wird von Quarz und Nordischem Kristallin dominiert (Kühner 2000).

Während der Abschmelzphase des Elster-Eises bildete sich die Landschaft Südbrandenburgs mit ausgedehnten Seen in glazialen Rinnen und Becken heraus, die von markanten Hochflächen begrenzt werden. Ablagerungen der Holstein-Warmzeit wurden nur vereinzelt nachgewiesen, darunter in Bohrungen rund um die Kohlefelder Jänschwalde (Kühner et. al 2008) und Cottbus-Nord sowie westlich davon im Bereich des Lausitzer Grenzwalls und des Lausitzer Tals (vgl. Beitrag Strahl dieser Band). Die in den ehemaligen Tagebauen Jänschwalde und Cottbus-Nord vorgefundenen Ablagerungen umfassen organogene Schluff- und Tonhorizonte, die in den fluviatilen Komplex des Spree-Neiße-Schwemmfächers eingebettet sind. In der Bohrung CoN 1504/71 wurde eine Pollenflora beobachtet, die auf eine flache, verzweigte Flusslandschaft hindeutet (Erd 1994). Vergleichbare Ergebnisse liegen aus der Jänschwalder Rinne vor. Hier wurde eine fluviatile Feinsandserie gefunden, die Schlufflagen und Wurzelhorizonte führt. Laut den pollenanalytischen Befunden (Strahl 2023) datiert der älteste organogene Horizont in die frühe Holstein-Warmzeit. Nach einem das warmzeitliche Klimaoptimum umfassenden Hiatus setzte sich die Akkumulation erst in der späten Holstein-Warmzeit fort. Sie dauerte während des an sie anschließenden, anfangs durch subarktische Klimaverhältnisse geprägten Unter-Saale bis zum Beginn des Drenthe-Stadiums an (Krebetschek, Degering & Alexowsky 2008; Strahl 2023). Derzeit werden an diesem Vorkommen weitere Altersmessungen mittels IR-RF-Methode und schwermineralanalytische Untersuchungen durchgeführt, deren Ergebnisse gesondert publiziert werden sollen.

Zumindest der um Jänschwalde nachgewiesene Fluviatil-Komplex korreliert mit dem Tranitzer Fluviatil als lithostratigraphischem Leithorizont des Unter-Saale in der östlichen Niederlausitz (Hellwig 1975). Das Saale-Frühglazial wird in dieser Region vor allem durch das Tranitzer Fluviatil repräsentiert. Es ist der wichtigste lithostratigraphische Leithorizont. Hellwig (1975) unterteilte die Ablagerungen in zwei Folgen. Die untere Folge besteht überwiegend aus fein- bis mittelkörnigem Material. Die obere Folge enthält mittel- bis grobkörnige Sedimente. Als Hauptlieferant der Schotter der unteren Folge gilt die Spree. Ihre Sedimentfracht wurde jedoch stark verdünnt und durchmischt. Ursache war die Einschüttung der Lausitzer Neiße (Kühner 2024; Kühner et al. 2008). Das Fluviatil setzt sich nordwärts mit Ablagerungen im Raum Jänschwalde-Ost bis Schmogrow fort (Cepek, Hellwig & Nowel 1994).

Im Drenthe-Stadium erreichte der erste saalezeitliche Eisvorstoß den Raum Kamenz-Bautzen-Görlitz und das Eis überdeckte die Schotterflächen des Unter-Saale. In der nördlichen Lausitz sind Staubeckensedimente und Schmelzwasserschotter dokumentiert (Lippstreu, Hermsdorf & Sonntag 1995). Die Drenthe-Moräne ist durch eine schluffige Grundmasse mit wenigen großen Steinen gekennzeichnet und weist im Jänschwalder Raum ein für die Drenthe untypisches ostbaltisch geprägtes Geschiebeinventar auf (Lippstreu et al. 1994). Der Gletscher des Warthe-Stadiums erreichte in seiner größten Ausdehnung den Niederlausitzer Grenzwall. Dort markieren zwei hintereinander liegende markante (Stauch-)Endmoränenstaffeln die jeweiligen Stillstände (Nowel 1986; Greulich 1989; Kühner 2024). In diesem Bereich wurden großflächig warthezeitliche Geschiebemergel abgelagert, welche die topologische Basis für die Entstehung kleinerer Restseen und Toteislöcher waren, die den Ablagerungsraum unter anderem für die Eem-Vorkommen der Region bildeten (Kühner 2024). Für Südbrandenburg dokumentierten Hermsdorf & Strahl (2008) rund 100 Eem-Vorkommen, 50 davon palynologisch gesichert. Detaillierte Studien erfolgten an Tagebauaufschlüssen, darunter die klassischen Vorkommen bei Klinge (Striegler, R. 2007) sowie in Welzow-Süd (Kühner & Strahl 2008), Cottbus-Nord und Jänschwalde (Kühner 2020, 2023), darunter auch die ältesten Belege für menschliche Besiedlung in Brandenburg (Autorenkollektiv 2016). Eine detaillierte Beschreibung der quartären Schichtenfolge in Brandenburg kann Kühner (2024) entnommen werden.

Nach dem Ende der Eem-Warmzeit wechselten stadiale und interstadiale Phasen. Frühglaziale Sedimente des Weichsel wurden vor allem im Lausitzer Urstromtal abgelagert. Dort bildeten sich bis zu 25 m mächtige Sandserien mit Torf- und Muddehorizonten („Obere Talsandfolge“; Cepek , 1965).

Im Hochglazial erreichte das Brandenburger Stadium vor ca. 30 ±4 ka seine maximale Ausdehnung bis an den Nordrand von Cottbus. Schmelzwässer schütteten im Baruther Urstromtal bis zu 20 m mächtige Sand- und Kieskörper auf. Diese werden von Ablagerungen des Unteren und Oberen Spreeschwemmfächers überdeckt, letzterer umfasst fast die gesamte Spätglazialabfolge.

Im Raum Reichwalde (Lausitzer Urstromtal) ist die Verfüllung des Rinnen- und Beckensystems durch limnisch-fluviatile Ablagerungen charakterisiert. Dieses wurde im späten Weichsel-Hochglazial erosiv stark zergliedert (Ullrich in Friedrich et al. 2001, van der Kroft, Renno & Ullrich 2002; Kühner 2024.

3 Geologisches 3D-Modell

Das Modellgebiet (bzw. Untersuchungsgebiet) umfasst eine Fläche von 11 500 km² (7 450 km² Brandenburg und 4 050 km² Sachsen). Die Ost–West Ausdehnung beträgt maximal 121 km und die Nord–Süd Ausdehnung maximal 111 km. Im Osten wird das Modellgebiet vom Lauf der Lausitzer Neiße begrenzt, während die übrigen Modellgrenzen gerade Linienführungen aufweisen (Abb. 2). Im Hauptteil des Modellgebietes bildet die Prätertiär-/Tertiär-Grenze die Basis. Abweichend zum restlichen Gebiet ist im Norden der Rupelton mit Mächtigkeiten größer 20 m verbreitet, innerhalb dieses Verbreitungsgebietes bildet die Unterkante der Rupelton-Formation die Modellbasis. Zudem werden ausgewiesene geologische Sondergebiete aufgrund ihrer kleinräumigen Komplexität zunächst nicht modelliert. Dies betrifft besonders quartäre Störungszonen aber auch den Muskauer Faltenbogen (Abb. 1).

Das geologische 3D-Modell folgt dem primären Ziel einer visuellen und quantitativen Darstellung der geologischen Schichten und Strukturen im Untergrund, durch Integration von geophysikalischen, geologischen und geotechnischen Daten in einem dreidimensionalen Raum. Basierend auf einer zwischen den Staatlichen Geologischen Diensten von Brandenburg und Sachsen abgestimmten Generallegende für das Untersuchungsgebiet, werden die känozoischen Schichten mit stratigraphischen und lithologischen Informationen in dem Modell abgebildet. Zusätzlich weisen die Ablagerungen neben der sich in dem gesamten Ablagerungszeitraum stark verändernden Ablagerungsverhältnisse auch strukturgeologische Beeinflussungen auf. Diese sind, besonders die tertiären Sedimente betreffend, großräumige Grabensysteme (vgl. Graben von Weißwasser), aber auch damit assoziierte kleinräumigere Störungen. Strukturelemente des Quartärs sind insbesondere glazigene Störungsgebiete. In diesen Zonen wurden die abgelagerten quartären aber auch tertiären Sedimente komplex plastisch sowie spröde deformiert, aufgefaltet und überkippt.

Somit sollte das 3D-Modell auch strukturelle geologische Elemente einbeziehen. Die Modellierung solcher Elemente erfordert eine detaillierte Analyse von seismischen Daten und geologischen Kartierungen, um die genaue Lage und Ausdehnung dieser Strukturen darzustellen.

3.1 Datenbasis für das 3D-Modell

Die Qualität und Genauigkeit des 3D-Modells hängen stark von den Eingangsdaten ab. Für das Modell der Lausitz wird ein ganzheitlicher Ansatz gewählt, der die folgenden geologischen Basisdaten integriert:

1. Geologische Karten: Topographische und geologische Karten liefern grundlegende Informationen zu Gesteinsarten, Verwerfungen und Störungszonen.
2. Bohrdaten: Daten aus geotechnischen Bohrungen (Bohrkernproben) sind unerlässlich, um die geologische Stratifikation und die Lithologie zu verstehen.
3. Geophysikalische Messungen: Bohrlochgeophysik, Seismik, Geoelektrik und -magnetik und gravimetrische Daten ermöglichen es, die Verbreitung, Teufenlage und Mächtigkeit der Sedimente sowie von tektonischen Strukturen zu erfassen.

Bei den Punktdaten „Bohrungen“ handelt es sich um ein Konsortium aus verschiedenen, historisch bedingt und gewachsenen Datenbanken. Hierbei ist eine Unterteilung in die Bohrdatenbanken der geologischen Dienste (Sachsen: Sächsische Aufschlussdatenbank AufDB; Brandenburg: Geologiedatenbank GeoDaB) und die Bohrdatenbanken der Bergbaubetreiber notwendig. Grund hierfür ist die Verschlüsselung der petrographischen und stratigraphischen Informationen nach dem SEP3-Schlüssel (GeoDaB), UHYDRO (AufDB) und der durch die Bergbaubetreiber weiterentwickelten und regional angepassten DSE-Verschlüsselung nach der Erkundungsmethodik Braunkohle (Autorenkollektiv 1985).

Aufgrund der volkswirtschaftlichen Bedeutung und des politischen Willens in der ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik wurden hunderttausende Bohrungen zur Rohstofferkundung, aber auch der geologischen und hydrogeologischen Kartierung abgeteuft. Bezogen auf das Untersuchungsgebiet stehen über 278 000 Bohrungen aus den verschiedenen Datenbanken für die Modellierung zur Verfügung.

Die absoluten Zahlen aus Abbildung 4 dienen ausschließlich der besseren Übersicht und werden aufgrund von Überschneidungen der einzelnen Datenbanken zuerst abgeglichen, geprüft und homogenisiert. Dabei liegt das Augenmerk auf der unterschiedlichen Verschlüsselung, aber auch der Überlappung zwischen Brandenburg und Sachsen. Eine Wichtung und Qualifizierung werden nachfolgend durch Parameter, wie Bohrjahr, Bohrzweck, Endteufe sowie Qualität der Stratifizierung und lithologischen Beschreibung vorgenommen. Die Stammdaten der Bohrungen dienen somit der Definition möglicher Rohdaten und spiegeln das maximale Potential an Punktinformationen wider.

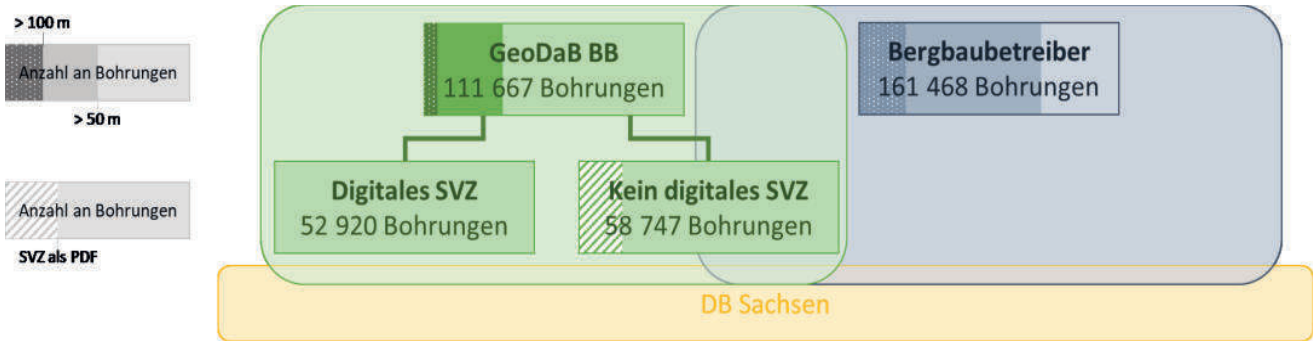


Abb. 4: Darstellung der Verteilung der für die Modellierung zur Verfügung stehenden Bohrdaten am Beispiel der Brandenburger Bohrdatenbank. Nach dem Dopplungsabgleich und der Datenbereinigung werden die Bohrdatenbanken aus Sachsen und Brandenburg zusammengeführt und bilden dann einen Datensatz mit etwa 278 000 Bohrungen (SVZ = Schichtenverzeichnis, DB = Datenbank).

Fig. 4: Illustration of the distribution of the well data available for modeling using the example of the Brandenburg drilling database. After the duplication adjustment and data cleansing, the well databases from Saxony and Brandenburg are merged and then form a data set with around 278 000 wells (SVZ = layer index, DB = database).

3.2 Workflow für den Aufbau des hydrogeologischen Strukturmodells

Die nachfolgenden Bearbeitungsschritte verdeutlichen den Workflow, wie er für den Aufbau des hydrogeologischen Strukturmodells angewandt wird. Die Arbeitsschritte 1–8 beginnen dabei zum Teil gleichzeitig:

1. Schaffung der Datengrundlage,
2. Erstellung des Konzeptmodells,
3. Vorarbeiten zur 3D-Modellierung,
4. Codierung der Schichtdaten,
5. 3D-Konstruktion,
6. Plausibilitätsprüfungen,
7. Parametrisierung und
8. Dokumentation.

Die Erstellung eines geologischen 3D-Modells beginnt mit der sorgfältigen Schaffung der Datengrundlagen, die einen präzisen und strukturierten Prozess erfordert. Zunächst erfolgt eine umfassende Datenrecherche bei relevanten Institutionen, wie Geologischen Landes- und Bergämtern, Bergbaubetreibern, Universitäten und Archiven. Ziel dieser Recherche ist es, alle verfügbaren geologischen Daten, wie Bohrprotokolle, geologische Karten und geophysikalische Messdaten, zu identifizieren und die aktuelle Datensituation zu erfassen. Eine Bestandsaufnahme hilft dabei, vorhandene Lücken zu erkennen und den weiteren Bedarf an Datenerhebungen zu ermitteln. Nach der Datensammlung erfolgt eine detaillierte Bewertung der Qualität und Vollständigkeit der gesammelten Informationen. Eine Defizitanalyse deckt eventuelle Datenlücken auf und ermöglicht die Erstellung eines Zwischenberichts, der als Grundlage für die weiteren Schritte dient.

Fehlende Daten, wie Bohrungen oder geophysikalische Messungen, müssen neu erfasst und aufbereitet werden. Dies beinhaltet die Digitalisierung und Harmonisierung von Kartenmaterial sowie die Berücksichtigung regionaler geologischer Besonderheiten. Die Qualitätssicherung ist dabei von entscheidender Bedeutung, um zu garantieren, dass alle Daten korrekt und konsistent sind, bevor sie in das Modell einfließen.

Mit den aufbereiteten und qualifizierten Daten wird dann das geologische Konzeptmodell erstellt, das die Grundlage für die spätere 3D-Modellierung bildet. Zu Beginn wird ein geologisches Normalprofil erstellt, das die Schichtenfolge und Struktur der geologischen Einheiten darstellt. Ergänzend werden geologische Prinzipschnitte erzeugt, um die Verhältnisse der geologischen Einheiten in verschiedenen Bereichen des Modells zu visualisieren und das geologische Konzept weiter zu verfeinern. Die Vorarbeiten zur 3D-Modellierung sind ebenso entscheidend für eine effiziente und fehlerfreie Modellierung. Zunächst wird der Gesamtumfang des geologischen Strukturmodells definiert, um den benötigten Datenbedarf festzulegen. Eine durchdachte Modellierungsstrategie wird entwickelt, die die Anforderungen des Projekts berücksichtigt und die besten Modellierungstechniken auswählt. Die Auswahl geeigneter 3D-Geomodellier-Software, wie GOCAD, Leapfrog oder Petrel, spielt eine zentrale Rolle, um die Qualität des Modells zu gewährleisten. Dabei wird auch entschieden, ob virtuelle Stützstellen aus benachbarten geologischen Gebieten in das Modell integriert werden sollen. Ein detaillierter Bearbeitungsablauf wird erstellt und die erforderlichen Daten werden in einem strukturierten Format aufbereitet, sodass sie direkt in die Modellierung einfließen können. Im nächsten Schritt erfolgt die Codierung der Schichtdaten. Es wird ein Überführungsschlüssel, das heißt, ein Codierungssystem entwickelt, welches dazu verwendet wird, die einzelnen, heterogenen Schichten eines Bohrloches zu ihren jeweiligen stratigraphischen Schichten eindeutig zuzuordnen. Diese Codierungen werden gründlich verifiziert und gegebenenfalls korrigiert, um sicherzustellen, dass alle Schichtgrenzen korrekt und konsistent kodiert sind.

Zudem wird eine gemeinsame Stützpunkte-Datenbank erstellt, um alle relevanten Stützpunkte zu verwalten und die Konsistenz des Modells zu gewährleisten. Die eigentliche 3D-Konstruktion des geologischen Strukturmodells erfolgt in mehreren Schritten. Zunächst werden klare Vorgaben für die Konstruktion dreidimensionaler Objekte festgelegt. Dies betrifft insbesondere geologische Strukturen wie Schichtgrenzen, Verwerfungen und Störungszonen. Die geologischen Körper werden dann basierend auf den Schichtdaten und geologischen Parametern dreidimensional abgebildet. Die verschiedenen hydrogeologischen Körper (HGK) werden zu einem Gesamtmodell zusammengeführt, wobei die räumliche und zeitliche Reihenfolge berücksichtigt wird. Zur Überprüfung der Genauigkeit des Modells wird es mit bestehenden Regionalmodellen abgeglichen. Abschließend erfolgt eine umfassende Prüfung, um zu gewährleisten, dass das Modell sowohl intern konsistent als auch mit den realen geologischen Gegebenheiten kompatibel ist. Eine wichtige Phase ist die Durchführung von Plausibilitätsprüfungen des geologischen Strukturmodells. Hierbei wird das Modell mit geologischen Schnitten qualifiziert, um möglichst realistische geologische Verhältnisse widerzuspiegeln. Zudem werden virtuelle Bohrungen in das Modell eingebracht, um die Gültigkeit der geologischen Strukturen und Schichtfolgen zu testen. Abschließend wird das geologische Strukturmodell mit den erforderlichen Parametern belegt. Dies umfasst die Auswahl und Dokumentation der relevanten geologischen Parameter, wie Petrographie, Kf-Werte oder Porosität. Diese Parameter werden auf ihre Plausibilität und Konsistenz kontrolliert, bevor sie den geologischen Körpern zugeordnet und in den 3D-Raum übertragen werden. Durch diese präzise Parametrisierung erhält das Modell die richtigen physikalischen Eigenschaften, die für weitergehende geologische Analysen und Simulationen erforderlich sind.

4 Ausblick

Das geologische Modell der Lausitz bietet zahlreiche Potentiale, die in zukünftigen geowissenschaftlichen Untersuchungen und Planungen eine zentrale Rolle spielen werden. Durch eine vertiefte Analyse und Weiterentwicklung dieses Modells lassen sich wertvolle Erkenntnisse über die geologischen Verhältnisse und Besonderheiten der Region gewinnen, die sowohl für die geologische Forschung als auch für die wirtschaftliche Nutzung von Rohstoffen und die Bewertung von Naturgefahren von großer Bedeutung sind.

Die Integration weiterer überregionaler Daten sowie die Anwendung etablierter Verfahren werden die Erstellung detaillierterer und präziserer Modelle auf Landesebene ermöglichen. Ein solch umfassender Ansatz wird dazu beitragen, die geologische Forschung und Modellierung auf ein neues Niveau zu heben und es ermöglichen, großräumige geologische Prozesse und Strukturen besser zu verstehen und das Wissen darüber nutzbar zu machen.

Zudem besteht die Möglichkeit, die horizontale und vertikale Auflösung des Modells dahingehend anzupassen, um lokale geologische Besonderheiten hochauflösend darstellen. Hierzu gehören die Strukturen des Muskauer-Faltenbogens sowie die des Spreewaldes.

Nach einer erfolgreichen Modellierung der dreidimensionalen geologischen Strukturen, ist es möglich, ein komplettes numerisches Strömungsmodell anzusetzen, um den regionalen Wasserhaushalt qualitativ und quantitativ zu beschreiben.

Zuletzt müssen die Synergien des Projektes kanalisiert und konserviert werden. Dabei steht eine länderübergreifende Zusammenarbeit in der geologischen Strukturmodellierung und der hydrogeologischen Strömungsmodellierung im Vordergrund. Eine solche (nationale) Arbeitsgemeinschaft dient der Sicherung von Expertise und dem Halten von Fachexperten sowie abgesprochenen und standardisierten Modellierungsrichtlinien.

Zusammenfassung

Im Lausitzer Braunkohlenrevier wurde über 150 Jahre hinweg durch den Bergbau eine von Menschen stark geprägte Kulturlandschaft geschaffen. Mit dem Kohleausstieg rücken hydrogeologische, geotechnische und energiepolitische Fragestellungen in den Fokus und somit die Notwendigkeit einer detaillierten, überregionalen geologischen Modellierung. Die Staatlichen Geologischen Dienste Sachsens und Brandenburgs entwickeln daher ein länderübergreifendes geologisches 3D-Modell der Lausitz. Dieses Modell umfasst sämtliche Tagebau- und Alttagebaubereiche sowie bislang weniger beachtete Zwischenräume und bildet die Grundlage für weiterführende Fragestellungen.

Das geologische 3D-Modell integriert geologische, geophysikalische und geotechnische Daten. Die Modellbasis wird durch die Prätertiär-/Tertiär-Grenze bzw. den Rupelton gebildet. Die Datenbasis umfasst geologische Karten, Bohrdaten aus verschiedenen Datenbanken und geophysikalische Messungen. Insgesamt stehen über 278 000 Bohrungen zur Verfügung, die hinsichtlich Qualität, Zweck und Verschlüsselung homogenisiert und gewichtet werden. Das Modell dient als Grundlage für die Visualisierung und Analyse der geologischen Verhältnisse und unterstützt die nachhaltige Entwicklung der Region.

Summary

Over a period of more than 150 years, lignite mining in the Lausitz mining district has created a cultural landscape that is strongly shaped by human activity. With the coal phase-out hydrogeological, geotechnical and energy-political issues are coming to the fore, highlighting the need

for detailed, cross-regional geological modelling. For this reason, the State Geological Surveys of Saxony and Brandenburg are developing a cross-border geological 3D model of the Lausitz. This model encompasses all current and former mining areas as well as previously less-considered intermediate zones, and serves as the basis for further research questions.

The geological 3D model integrates geological, geophysical, and geotechnical data. The base of the model is defined by the Pre-Tertiary/Tertiary boundary or the Rupel Clay. The data foundation comprises geological maps, borehole data from various databases, and geophysical measurements. In total, more than 278 000 boreholes are available, which are homogenised and weighted according to quality, purpose, and coding. The model provides the basis for the visualisation and analysis of geological conditions and supports the sustainable development of the region.

Literatur

Autorenkollektiv (2016): Das Spätsaale-/Eem-Vorkommen und der mittelpaläolithische Fundplatz Jänschwalde. – Brandenburg. geowiss. Beitr. **22**, 2/Arbeitsber. Bodendenkmalpfl. Brandenburg **28**, Sonderband 2016, 245 S.

Autorenkollektiv (1985): Erkundungsmethodik Braunkohle. Ministerium für Kohle und Energie, Ministerium für Geologie, Berlin

Berggren, W. A., Kent, D. V., Aubry, M.-P. & J. Hardenbol, J. (Hrsg.) (1995): Geochronology, time scales and global stratigraphic correlations. – SEPM Spec. Publ. **54**, S. 129–212

Brause, H. (1990): Beiträge zur Geodynamik des Saxothuringikums. – Geoprofil **2**, 88 S.

Büchner, J., Suhr, P. & O. Tietz (2017): Das Lausitzer Vulkanfeld unter besonderer Berücksichtigung der Guttauer Vulkangruppe. – In: Schulze, P.; Gerschel, H. & P. Suhr (Hrsg.): Maare, Rohstoffe und Berg-baufolgen in der sächsischen Oberlausitz. – EDGG **258**, S. 89–122, Hannover

Cepek, A.-G. (1967): Stand und Probleme der Quartärstratigraphie im Nordteil der DDR. – Ber. dt. Ges. geol. Wiss. **A 12**, 3/4, S. 375–404

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

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

Escher, D., Gerschel, H., Geissler, M., Hartmann, A., Rascher, J., Rascher, M. et al. (Hrsg.) (2020): Neukartierung der Lithofazies-/Horizontkarten Tertiär i. M. 1 : 50.000 für die sächsische Lausitz (LKT50 Lausitz). – Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), Freiberg

Friedrich, M., Knipping, M., van der Kroft, P., Renno, A., Schmidt, S., Ullrich, O. & J. Vollbrecht (2001): Ein Wald am Ende der letzten Eiszeit. Untersuchungen zur Besiedlungs-, Landschafts- und Vegetationsentwicklung an einem verlandeten See im Tagebau Reichwalde, Niederschlesischer Oberlausitzkreis. – Arbeits- und Forschungsberichte zur Sächsischen Bodendenkmalpflege **43**, S. 21–94

Geissler, E., Suhr, P., Standke, G., Alexowsky, W., Schubert, G., Wolf, L., Kupetz, M., Rascher, J., Rudolph, G. & P. Reinhardt (1987): Lagerstättengeologische Forschung Braunkohle – Teilgebiet 2: Geologisches Modell der Lausitz. – 256 S. (286 Blatt), 29 Anl., VEB GFE Freiberg, 29.6.1987 (unveröff.)

Göthel, M. (2001): Das autochthone und allochthone Paläozoikum des “Görlitzer Schiefergebirges” (Mitteleuropäische Variszіden, Deutschland). – Z. geol. Wis. **29**, 1/2, S. 55–73

Göthel, M. & O. Elicki (1996): Das Görlitzer Unterkambrium - eine variszische Duplexstruktur im Görlitzer Synklinorium? – Natur u. Landschaft i. d. Niederlausitz, **17**, S. 99–116

Grahmann, R. (1933): Die Geschichte des Elbtales von Leitmeritz bis zu seinem Eintritt in das Norddeutsche Flachland. – Mitt. Ver. Erdkde. Dresden N.F. (für 1932/33), S. 132–194

Greulich, K. (1989): Lagerungsverhältnisse des 2. Miozänen Flözhorizontes im Bereich des Niederlausitzer Grenzwalls im Raum Neupetershain-Spremberg. – Freiberger Forschungsh. **C 434**, S. 59–71

Haq, B. U., Hardenbol, J. & P. R. Vail (1987): Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. – Science **235**, 4793, S. 1156–1167

Haq, B. U., Hardenbol, J. & P. R. Vail (1988): Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea-level change. – In: Wilgus, C. K., Hastings, B. S., Ross, C. A., Posamentier, H., Van Wagoner, J. & C. G. S. C. Kendall (eds.): Sea-level changes: An integrated approach. – SEPM Special Publication **42**, S. 71–108

Hardenbol, J., Thierry, J., Farley, M. B., Thierry J., Graciansky, P.-C. & P. R. Vail (1998): Mesozoic and Cenozoic Sequence Chronostratigraphic Cha11. – In: Graciansky, P.-C., Hardenbol, J., Thierry, J. & P. R.

VAIL (1998): Sequence Stratigraphy of European Basins. – SEPM Special Publication **60**, 786 S.

Hannemann, M. & H. Radtke (1961): Frühglaziale Ausräumungszonen in Südostbrandenburg. – Z. Angew. Geol. **7**, 2, S. 69–74

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

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

Krebetschek, M. R., Degering, D. & W. Alexowsky (2008): Infrarot-Radioflureszenz-Alter (IR-RF) der Unteren Saale Mittel- und Ostdeutschlands. – Z. dt. Geowiss. **159**, I, S. 133–140

Krentz, O., Lapp, M., Seibel, B. & W. Bahrt (2010): Bruchtektonik. – In: Autorenkollektiv (2010): Die geologische Entwicklung der Lausitz. – Vattenfall Europe Mining AG (Hrsg.), S. 137–160, Cottbus

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

Kühner, R. (2000): Sedimentfolgen und Lagerungsverhältnisse im quartären Deckgebirge des Tagebaus Welzow-Süd. – Brandenburg. geowiss. Beitr. **7**, S. 59–72

Kühner, R. (2020): Die geologischen Verhältnisse im Tagebau Cottbus-Nord. – Natur u. Landschaft i. d. Niederlausitz **33**, S. 36–66

Kühner, R. (2023): Die geologischen Verhältnisse im Tagebau Jänschwalde. – Natur u. Landschaft i. d. Niederlausitz **34**, S. 68–103

Kühner, R. (2024): Das Quartär in Südbrandenburg – Ausbildung und Schichtenfolge. – Brandenburg. geowiss. Beitr. **31**, S. 9–18

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

Kupetz, M. (1997): Geologischer Bau und Genese der Stauchendmoräne Muskauer Faltenbogen. – Brandenburg. Geowiss. Beitr., **4**, 2, S. 1–20

Kupetz, M., Schubert, G., Seifert, A. & L. Wolf (1989): Quartärbasis, pleistozäne Rinnen und Beispiele glazitektonischer Lagerungsstörungen im Niederlausitzer Braunkohlenrevier. – Geoprofil **1**, S. 2–17

Linnemann, U., Gerdes, A., Drost, K. & B. Buschmann (2003): The Saxo-Thuringian zone of the Variscan Orogen in central Germany: geochronological constraints. – Geological Society, London, Special Publications **223**, S. 131–156

Lippstreu, L. (1995): Brandenburg. – In: Benda, L. (Hrsg.): Das Quartär Deutschlands. – S. 116–147, Stuttgart (Borntraeger)

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

Lippstreu, L., Hermsdorf, N. & A. Sonntag (1995): Zur Gliederung der quartären Sedimentabfolgen im Niederlausitzer Braunkohlentagebau Greifenhain (LAUBAG) und seinem Umfeld. – Brandenburg. geow. Beitr., **2** ,1, S. 61–67

Ludwig, A. O. (2015): Inlandvereisung in Nordeuropa während des Neogens. – Z. Dt. Ges. Geowiss., **166**, 3, S. 297–320

Nowel, W. (1983): Die geologische Entwicklung des Bezirkes Cottbus, Teil lll/B: Das Quartär (Stratigraphie). – Natur u. Landsch. Bez. Cottbus **5**, S. 3–26

Nowel, W. (1986): Zur regionalgeologischen Bedeutung der Ziegeleigrube Leuthen südlich Cottbus. – Natur u. Landsch. Bez. Cottbus **8**, S. 68–72

Pfeiffer, L. & P. Suhr (2008): Tertiärer Vulkanismus. – In: Pälchen, W. & H. Walter (Hrsg.): Geologie von Sachsen. – S. 486–494, Stuttgart (E. Schweizerbart´sche Verlagsbuchhandlung Nägele u. Obermiller)

Präger, F. (Hrsg.) (1976): Die glazigenen Bildungen im Südosten der DDR und ihre Beziehungen zum angrenzenden periglaziären Gebiet im Norden der CSSR. – Exkursionsf. Tagung GGW in Bautzen 1976, S. 1–47, Berlin

Schubert, G. (1977): Die Gliederung und Verbreitung elsterkaltzeitlicher Sedimente in der mittleren Lausitz. – Veröff. Mus. Westlausitz **1**, S. 37–50

Seifert, A., Alexowsky, W., Brause, H., Geissler, E. & P. Suhr (1989): Zu endogenen-tektonischen Lagerungsstörungen im Niederlausitzer Braunkohlenlagerstättenbezirk. – Freib. Forsch.-H. **C 434**, S. 8–25

Standke, G. (1998): Zur Stratigraphie der Tertiärvorkommen in der nördlichen Oberlausitz. – Veröff. Mus. Westlausitz Kamenz **20**, S. 23–64

Standke, G. (2006): Paläogeographisch-fazielle Modellierung des Unter-/Mittelmiozän-Grenzbereichs in der Lausitz (Briesker Folge/Formation). – Schriftenr. f. Geowiss. **14,** 130 S.

Standke, G. (2008): Tertiär. – In: Pälchen, W. & H. Walter (Hrsg.): Geologie von Sachsen. – S. 358–419, Stuttgart (E. Schweizerbart´sche Verlagsbuchhandlung Nägele u. Obermiller)

Standke, G. (2010): Tertiär: Regionalgeologischer Überblick, Kenntnisstandsentwicklung, Stratigraphie und Schichtenfolge. – In: Autorenkollektiv (2010): Die geologische Entwicklung der Lausitz. – Vattenfall Europe Mining AG (Hrsg.), S. 41–75, Cottbus

Standke, G. & C. Strauss (1991): Neue Ergebnisse zur Stratigraphie der Oberlausitzer Braunkohlenlagerstätten. – Exkursionsf. 38. Jahrestagung GGW, Oktober 1991, S. 84–89, Berlin

Standke, G., Rascher, J. & N. Volkmann (2002): Lowstand Cycles and Coal Formation in Paralic Environments: New Aspects in Sequence Statigraphy. – In: Guers, K. (Hrsg.): Northern European Cenozoic Stratigraphy. – Proc 8th Biann. Meet. RCNNS/RCNPS, S. 153–161, Flintbek

Strahl, J. (2023): Revision der palynostratigraphischen Gliederungen der Holstein-Warmzeit und des Unter Saale Berlin-Brandenburgs. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **30**, S. 7–37

Striegler, R. (2007): Die Erforschung der Eem-Vorkommen von Klinge. – Natur u. Landschaft i. d. Niederlausitz **24**, S. 53–106

Suhr, P. (2003): The Bohemian Massif as a catchment area for the NW European Tertiary Basin. – Geolines **15**, S. 147–159

van der Kroft, P., Renno, A. & O. Ullrich (2002): Spätglaziale und holozäne Fluß-, Seen- und Niedermoorentwicklung im Oberlausitzer Heide- und Teichgebiet (Sachsen). – Greifswalder Geographische Arbeiten **26**, S. 67–71

Vinken, R. (Hrsg.) (1988): The Northwest European Tertiary Basin. – Geol. Jb. **A100**, S. 1–508

Wolf, L. (1980): Die elster- und präelsterkaltzeitlichen Terrassen der Elbe. – Z. geol. Wiss. **8**, 10, S. 1267–1280

Wolf, M. & W. Alexowsky (2008): Tertiäre Schotter in der Lausitz. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **15**, 1/2, S. 69–80

Wolf, L. & G. Schubert (1991): Die Niederterrassen der Neiße; ihre Beziehungen zur Oberen Talsandfolge im Bereich des Lausitzer Urstromtals. – Tagungsmaterial 38. Jahrestagung Ges. Geol. Wiss. DDR, S. 135–140, Berlin, Freiberg

Anschrift der Autoren:

Sophia Rütters
Marlen Knoblauch-Saßenscheidt
Landesamt für Bergbau, Geologie
und Rohstoffe Brandenburg
Inselstraße 26
03046 Cottbus
sophia.ruetters@lbgr.brandenburg.de

Sascha Schmidt
Daniel Franke-Laske
Leonie Graffmann
Sächsisches Landesamt für Umwelt,
Landwirtschaft und Geologie
Halsbrücker Str. 31a
09599 Freiberg
Sascha.Schmidt@lfulg.sachsen.de

Brandenburg. Geowiss. Beitr.	Cottbus	Bd. 32/2025	S. 81–93	14 Abb., 18 Lit.

Dokumentation der pollenstratigraphischen Untersuchungen zur Verbreitung der Holstein- bis Unter Saale-zeitlichen Ablagerungen im Gebiet zwischen Calau und Lauchhammer (Brandenburg) sowie Großenhain (Sachsen)

Documentation of the pollen stratigraphic investigations on the distribution of the Holsteinian to Lower Saalian deposits in the area between Calau and Lauchhammer (Brandenburg) as well as Großenhain (Saxony)

Jaqueline Strahl

1 Einleitung

Die nachfolgend vorgestellten pollenanalytischen Untersuchungen fließen ein in das geologische 3D-Modell der Lausitz (vgl. Beitrag Rütters et al. dieser Band). Ursprünglich wurden die dafür ausgewählten Bohrungen (Abb. 1) für die „Karte der limnischen und limnisch-fluviatilen Ablagerungen der Holstein-Warmzeit und des Unter-Saale in Brandenburg und Berlin“ aufbereitet (vgl. Beitrag Strahl & Rütters dieser Band). Die Primärdaten für das sächsische Landesgebiet (Seifert 1983, 1989 und Steding 1988) wurden dazu durch das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) zur Verfügung gestellt.

Der Süden Brandenburgs mit den Landkreisen Elbe-Elster und Oberspreewald-Lausitz gehört naturräumlich größtenteils zur westlichen Niederlausitz (Scholz 1962). Begrenzt wird das Gesamtgebiet im Osten durch die Neiße, im Westen durch die Schwarze Elster sowie im Norden durch das Baruther und im Süden durch das Lausitzer Urstromtal. Das flachwellige, seit dem Tertiär existierende und insbesondere durch die Saale-Kaltzeit geprägte Hochflächengebiet im Westen der Niederlausitz ist intensiv zertalt und in zahlreiche Becken gegliedert (Lausitzer Becken- und Heideland; Scholz 1962). Hier von Bedeutung ist vor allem der Bereich südlich des NW–SE streichenden, oft in zwei parallelen Höhenrücken verlaufenden Saale-zeitlichen Lausitzer Grenzwalls mit dem aus mehreren Einzelbecken bestehenden Kirchhain-Finsterwalder Becken.

Neben der Uckermark im Nordosten zählt Südbrandenburg hinsichtlich der Verbreitung holsteinzeitlicher Ablagerungen zu den fundärmsten Regionen des Landes (zusf. zuletzt Lippstreu et al. 2015). Bisher wurde nur ein einziges pollenanalytisch belegtes, ungestörtes Holstein-Vorkommen aus dem Luger Becken südlich Calau (Abb. 1) durch Unger et al. (1995) beschrieben. Weitere Vorkommen existieren, allerdings schon unmittelbar hinter der brandenburgisch-sächsischen Grenze südwestlich Hirschfeld liegend, im Vorland der elsterzeitlich angelegten und saalezeitlich überprägten Hirschfeld-Ortrander Endmoräne. Zwischen den Ortschaften Strauch, Skaup und Skässchen (Abb. 1) wurden holstein- und fuhnezeitliche Ablagerungen erbohrt, die an kleinere Becken gebunden sind (zusf. Steding 1988). Neu hinzugekommen ist nordwestlich von Lauchhammer ein Vorkommen aus dem NE-Teil des ehemaligen, im Bereich der Lausitzer Randhügel (Scholz 1962) befindlichen Tagebaus Grünewalde. Für diese, stauchungsbedingt heute nahe der Oberfläche anstehenden Ablagerungen wurde bisher nur ein holsteinzeitliches Alter vermutet (zuletzt Sonntag 2004).

Die geringe Funddichte ist einerseits sicher in Zusammenhang mit einem in Summe unzureichenden Erkundungsstand in Verbindung zu bringen. Laut Unger et al. (1995) lag vor 1990 der Fokus auf der Braunkohlenexploration, das quartäre Deckgebirge wurde dabei nur marginal untersucht. Als primär ursächlich ist vielmehr die postelsterzeitlich abweichende geologische Ausgangssituation (zusf. Lippstreu et al. 2015 und Rütters et al. dieser Band) gegenüber den nördlich und nordöstlich angrenzenden Gebieten Brandenburgs zu nennen. Diese sind maßgeblich geprägt durch teils übertiefe, elsterkaltzeitlich angelegte subglaziale Rinnen und Becken mit flächenhaft verbreiteten spätelster- bis Unter-Saale-zeitlichen fluviatilen, limnisch-fluviatilen und limnischen Füllungen (vgl. Beitrag Strahl & Rütters dieser Band). Insbesondere im Bereich des tertiären Hochlagengebiets Südbrandenburgs waren die durch das Elster-Eis hin-

Geologisch-hydrogeologisches Strukturmodell Lausitz: Übersicht Modellgebiet

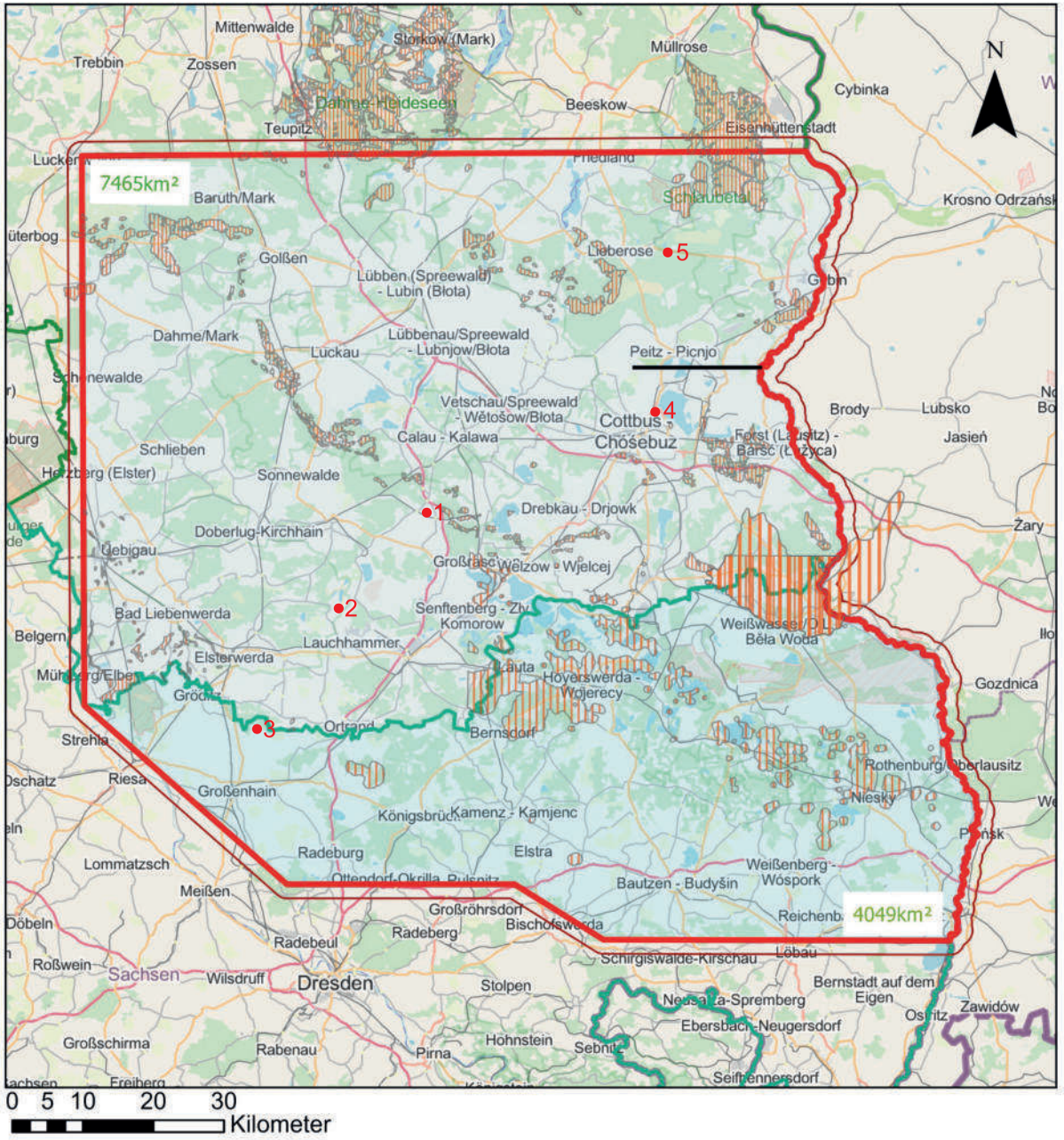
Untersuchungsgebiet

Muskauer Faltenbogen ergänzt aus LKT

glazigen-gestörte Bereiche in Brandenburg

glazigen-gestörte Bereiche in Sachsen nach LKT

Profillinie Peitz-Guben



Quellenvermerk: CC BY 4.0: © GeoBasis-DE / BKG (2025) CC BY 4.0; © BKG (2025) dl-de/by-2-0, Datenquellen: https://sgx.geodatenzentrum.de/web_public/gdz/datenquellen/datenquellen_topplusopen_23.05.2025.pdf; GeoBasis-DE / LGB, Esri, TomTom, Garmin, FAO, NOAA, USGS; Map data © OpenStreetMap contributors, Microsoft, Facebook, Inc. and its affiliates, Esri Community Maps contributors, Map layer by Esri; LKT_2016: Geomontan im Auftrag des LfULG, Abschlussbericht Erarbeitung digitaler Horizontkarten Tertiär Lausitz 1:50 000, 2016

Abb. 1:
Übersicht zur geographischen Lage des Modellgebietes Lausitz mit pollenanalytisch untersuchten Holstein-Vorkommen (aus Beitrag Rütters et al. dieser Band):
1 – Luger Becken; 2 – Tagebau Grünewalde; 3 – Lausitzer Tal;
4 – Spree-Neiße-Schwemmfächer; 5 – Fünfeichener Becken

Fig. 1:
Overview of the geographical location of the Lusatia model area with Holsteinian deposits analysed by pollen analysis (from the article by Rütters et al. in this volume):
1 - Luger Becken; 2 - Grünewalde open-cast mine;
3 - Lusatian valley; 4 - Spree-Neisse alluvial fan;
5 – Fünfeichener Becken

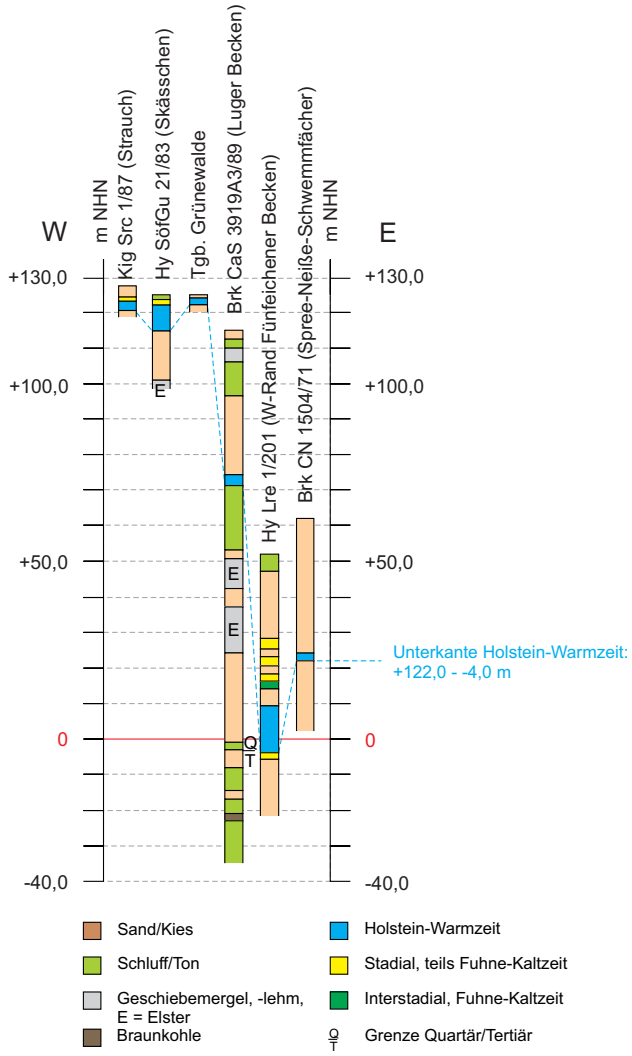


Abb. 2:
Schematisierte W–E-Darstellung der Schichtenfolgen von Bohrungen im Raum Strauch/Skässchen (N-Sachsen), aus dem Tagebau Grünewalde, dem Luger und Fünfeichener Becken sowie aus dem Spree-Neiße-Schwemmfächer bei Cottbus unter Hervorhebung des NHN-Niveaus der holsteinzeitlichen Ablagerungen (Lage der Untersuchungsgebiete s. Abb. 1).

Fig. 2:
Schematised W–E representation of the layer sequences from boreholes in the Strauch/Skässchen area (N Saxony), from the Grünewalde open-cast mine, the Luger and Fünfeichen Becken and from the Spree-Neisse alluvial fan near Cottbus, highlighting the NHN level of the Holsteinian deposits (See Fig. 1 for the location of the study areas).

terlassenen, deutlich flacheren Rinnen (z. B. Finsterwalde-Rinne; vgl. Abb. 2 Beitrag Strahl & Rütters dieser Band) und Quartären Ausräumungszonen bereits elsterzeitlich weitestgehend verfüllt (u. a Unger et al. 1995; Lippstreu et al. 2015; Rütters et al. dieser Band). Entsprechend gering war nachfolgend das Dargebot an holsteinzeitlichen Sedimentationsräumen. In erster Linie ist Toteis für die spätelsterzeitliche Anlage der oft nur kleinräumigen und isolierten Sedimentationsbecken mit teils Rinnenbindung verantwortlich (z. B. Lipten-Luger-Rinnensystem; Unger et al. 1995, elsterzeitliche Rinne bei Skaup und Strauch; Steding 1988). Vergleichbar den Rinnenrestseen NW-Brandenburgs (z. B. Klüß-Gartow-Rinne; Zwirner & Strahl 2002; Strahl & Rütters dieser Band) und im Gegensatz zu den seit dem Elsterspätglazial fluviatil beeinflussten Vorkommen des Fünfeichener Beckens im Osten (Kühner et al. 2008) oder des Berliner Elbelaufs im Norden (Schmöckwitz-Ludwigsfelde-Blankensee-Rinne; Strahl & Thieke 2004), zeigen diese Becken holsteinzeitlich eine mehr oder weniger ungestörte limnische Sedimentation von Schluff-, Kalk- und Diatomeenmudden sowie gelegentlich auch Torfwachstum. Während die wenigen Vorkommen der östlichen Niederlausitz durch die Spree bereits seit dem Elsterspätglazial (Klinger bzw. Unteres Tranitzer Fluviatil) und nachfolgend auch die Neiße bis in das frühe Drenthe-Stadium (Delitzsch-Phase; Oberes Tranitzer Fluviatil) beeinflusst wurden (Kühner et al. 2008; Lippstreu et al. 2015; Strahl 2023; Rütters et al. dieser Band), verzeichnen Unger et al. (1995) erst ab dem Unteren Saale auch fluviatile Ablagerungen im Luger Becken. Diese werden auf die heute im Rückland der sogenannten Hirschfeld-Ortrander Endmoräne der Elbe zufließenden Elster zurückgeführt. Die sächsischen Vorkommen lagen dagegen offensichtlich im Einzugsgebiet der Elbe, die ihre fluviatile Fracht über Herzberg/Elster und Jüterbog nach Norden und Nordwesten als sogenannter Berliner Elbelauf schüttete (vgl. Thieke 2010; zusf. Lippstreu et al. 2015). Westlich gerichtete Schüttungen von Spree und Neiße sind aufgrund des großen Höhenunterschiedes zwischen beiden Gebieten wohl unwahrscheinlich. Die jeweilige Unterkante der holsteinzeitlichen Ablagerungen der südbrandenburgischen Vorkommen (Abb. 2) liegt zwischen +71 m im Luger Becken und (stauchungsbedingt) +113 m NHN bei Grünewalde. Auf sächsischem Gebiet belaufen sich die Tiefenniveaus auf +105 bis +122 m NHN. In Richtung Osten beträgt der Niveauunterschied zwischen dem Luger Becken (Brk CaS 3919A/89) und dem Westrand des Fünfeichener

Beckens (Hy Lre 1/2021 bei Lieberose: -4,0 m NHN) sowie dem Gebiet nördlich Cottbus (Brk CN 1504/71 bei Maust: +23 m NHN) zwischen 75 und 48 m (Abb. 2). Noch deutlicher wird das Gefälle hinsichtlich der Vorkommen bei Grünewalde und Strauch (Kig Src 1/87) bzw. Skässchen (Hy SöfGn 21/83) mit 128 bis 99 m.

Wie die Vielzahl der holstein- bis fuhnezeitlichen Vorkommen Brandenburgs wurden auch jene in Südbrandenburg postfuhnezeitlich entweder durch Fluviatil (Luger Becken, Brk CaS 3919A3/89, Tagebau Grünewalde) oder das Saale-Eis bzw. seine Schmelzwasserbildungen (Strauch, Skaup, Skässchen) gekappt.

2 Pollenanalytische Untersuchungsergebnisse

2.1 Aufschluss ehemaliger Tagebau Grünewalde

Die oberflächennahe Verbreitung holsteinzeitlicher Ablagerungen im Bereich des ehemaligen Tagebaus Grünewalde (Abb. 3) ist an saalezeitliche Stauchungsvorgänge gebunden. Unterhalb eines periglaziären Deckhorizontes mit kryogen verformten Mittelsanden stehen über einer elsterzeitlichen Beckenserie Kalk- und Schluffmuden in einem Tiefenniveau von +113 m NHN an (Abb. 2, 4).

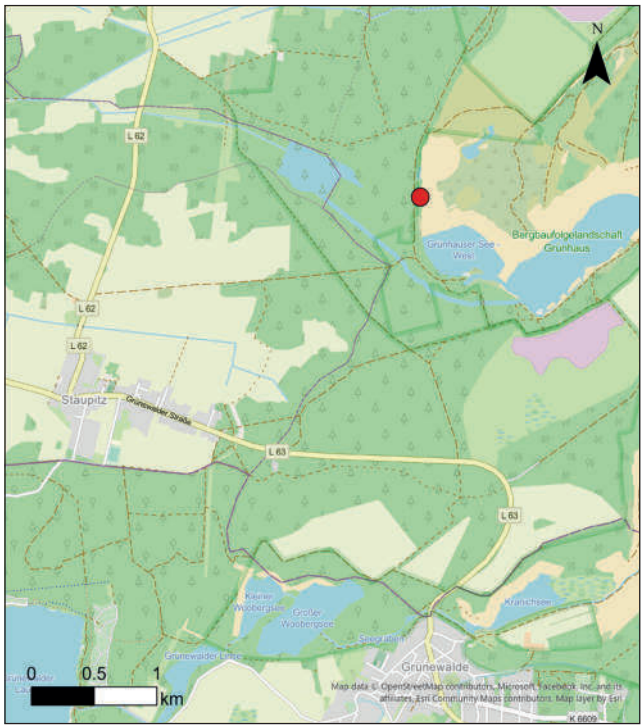


Abb. 3: Lage des Aufschlusses Tgb. Grünewalde
Fig. 3: Location of the Grünewalde open-cast mine outcrop

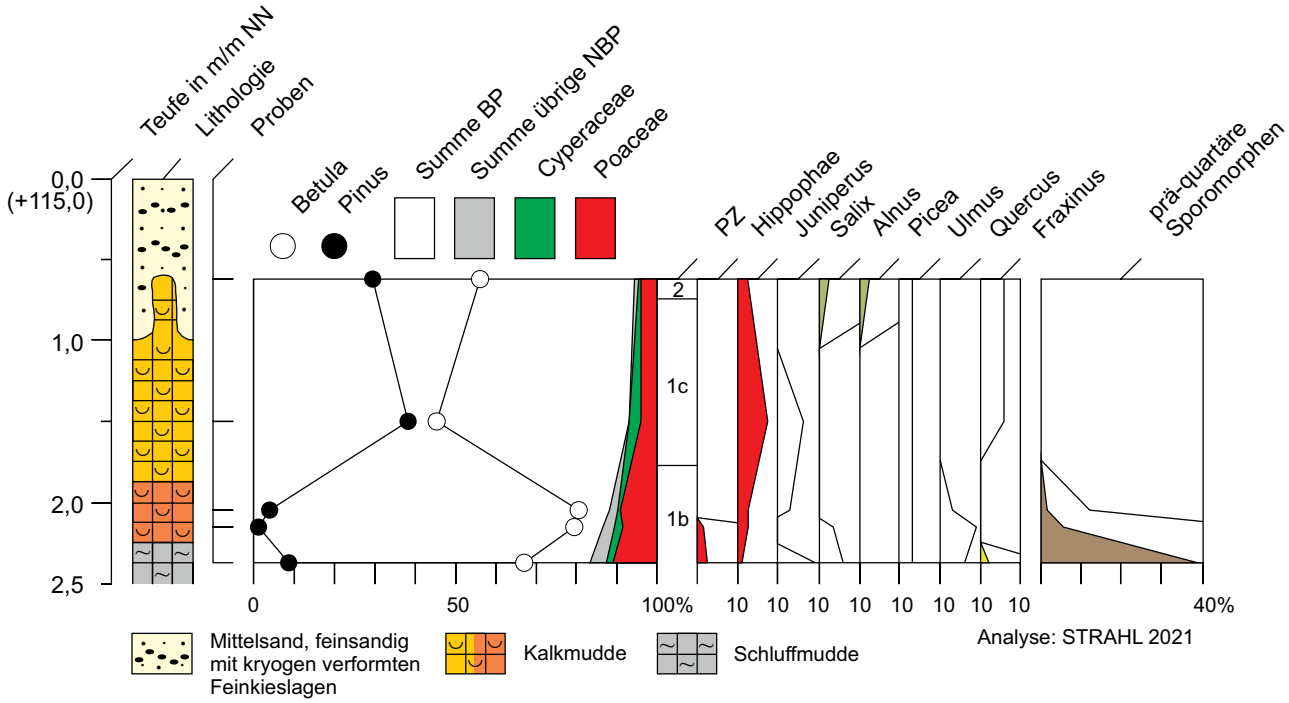


Abb. 4: Gekürztes Pollendiagramm der holsteinzeitlichen Ablagerungen des Aufschlusses Tagebau Grünewalde, ausgewählte Taxa
Grundsumme: BP + NBP = ± 335 = 100 %, ausgenommen: Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Moose, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, präquartäre Sporomorphen, BP = Baumpollen, NBP = Nichtbaumpollen, PZ = Pollenzone
Fig. 4: Simplified pollen diagram of the Holsteinian deposit of the Grünewalde open-cast mine, selected taxa
Basic sum: BP + NBP = ± 335 = 100 %, excluding swamp and aquatic plants, ferns, mosses, algae, plankters and other micro-remains, pre-Quaternary sporomorphs, BP = tree pollen, NBP = non-tree pollen, PZ = pollen zone

Eine Recherche in der Landesbohrdatenbank zu weiteren, zu vermutenden Holstein-Vorkommen im Tagebauumfeld blieb ergebnislos, so dass auch hier auf ein isoliertes, nur kleinräumiges Vorkommen geschlossen werden muss.

Der Aufschluss wurde am 02.05.1963 erstmals durch L. Behrendt beprobt. Die semiquantitative Pollenanalyse nahm Erd (1983) vor, in deren Ergebnis die Abfolge als Ablagerungen eines beginnenden Interglazials oder eines Interstadials unklarer Zuordnung eingestuft wurden. Eine nochmalige, stichprobenartige Nachbeprobung erfolgte durch L. Behrendt am 21.08.1963. Das Material wurde im Zuge der bereits oben erwähnten Erarbeitung der „Holstein-Karte“ für das Land Brandenburg pollenanalytisch ausgewertet. In der Zusammenschau der Ergebnisse, die durch die Untersuchungen von Erd (1983) in ihrer Aussage präzisiert werden können, wurden die untersuchten Sedimente in die frühe Holstein-Warmzeit [Pollenzone (PZ) 1b – Beginn PZ 2 sensu Strahl 2023] eingestuft:

PZ 1b – Birken-Wacholder-Sanddorn-Zeit

Das Pollendiagramm (Abb. 4) reflektiert seitens der Gehölze eine ausgesprochene Birken (*Betula*)-Dominanz. Daneben kamen Wacholder (*Juniperus*) und zu Beginn auch Sanddorn (*Hippophaë*) vor. Der Anteil an Offenlandelementen ist relativ niedrig, den Hauptanteil liefern Gräser (Poaceae) neben wenigen Sauergräsern (Cyperaceae) und Beifuß (*Artemisia*). Das aus einer an der Basis des Profils liegenden Schluffmudde stammende Pollenspektrum ist zudem stark mit Umlagerungen (rd. 40 %) belastet. Auf diese geht im Wesentlichen auch der unter 10 % liegende Wert der Kiefer (*Pinus*) zurück. Darauf wird aus den ermittelten Pollenfrequenzen mit dem Einsetzen der Akkumulation von Kalkmudden geschlossen, in denen sowohl der Umlagerungs- als auch der Kiefern-Anteil rückläufig sind. In diesem Abschnitt klingt der Rohböden bevorzugende Sanddorn wegen der weiteren Ausbreitung der deutlich konkurrenzstärkeren Birke aus. Außerdem scheint es auch zu einer Festlegung und einsetzenden Reifung des Bodensubstrates gekommen zu sein. Erhärtet wird dieser Umstand durch den sinkenden erosiven Eintrag prä-quartärer Sporomorphen.

PZ 1c – Kiefern-Birken-Wacholder-Zeit

Während dieses vegetationsgeschichtlichen Abschnittes begann sich die Kiefer innerhalb der lichten Birken-Wacholder-Gemeinschaften auszubreiten. Unter Einbeziehung der Untersuchungsergebnisse von Erd (1983) setzte sich die Kiefer im weiteren Verlauf sogar zeitweise teils als vorherrschendes Gehölz in der sich ausbildenden Kiefern-Birken-Bewaldung durch. Erste Spuren thermophiler Gehölze sind durch Nachweise der Esche (*Fraxinus*) und der Ulme (*Ulmus*) gegeben. Das Klima stellte sich von kühl-gemäßigten hin zu boreal getönten Bedingungen um.

PZ 2 – Kiefern-Birken-Fichten-Erlen-Eschen-Zeit

Die PZ 2 der Holstein-Warmzeit ist neben der Existenz einer weitestgehenden Vorherrschaft der Kiefer Holstein-typisch durch das frühe Vordringen von Erle (*Alnus*) und Fichte (*Picea*) in die frühwarmzeitlichen Wälder charakterisiert. Dieser Abschnitt ist im Profil gerade noch in seinem Beginn erfasst und findet sich so auch in der semiquantitativen Analyse von Erd (1983) wieder. Hinzu kommt die ebenfalls frühe, in der aktuellen Untersuchung wegen des Fehlens weiterer Proben nicht erfasste Ausbreitung der Ulme. Die Esche zeigt in beiden Untersuchungen mit weniger als 1 % weiterhin noch geringe Anteile.

2.2 Becken von Lug

Wie im Tagebau Grünewalde ist aus dem Luger Becken südlich Calau (Abb. 5) nur eine gekappte Holstein-Sequenz aus der Bohrung Brk CaS 3919A3/89 in einem Tiefenniveau von +71 m NHN überliefert, die durch Seifert (1989) pollenanalytisch bearbeitet wurde. Die ungestörte Sedimentabfolge wird durch limnische, Diatomeen und Pflanzenreste führende Schluffmudden gebildet, die elsterzeitliche glazifluviatile Sedimente, Geschiebemergel und glazilimnische Beckentone innerhalb des Lipten-Luger-Rinnensystems überlagern (Unger et al. 1995; Abb. 6). Über den Holstein-Sedimenten folgt ein saalezeitlicher Schotterkörper, der durch Unger et al. (1995) einem Lausitzer Fluss, vermutlich einem Vorläufer der Elster, zugeschrieben wird.

Die Bohrungsrecherche im engeren Umfeld der Brk CaS 3919A3/89 (Abb. 5) erbrachte ca. 500 m nordwestlich mit der Bohrung Brk Doch 6175/87 nur ein weiteres, anhand des Schichtenverzeichnisses und des vergleichbaren Tiefenniveaus von +67,5 m NHN identifiziertes Holstein-Vorkommen (Abb. 6), das demselben kleinräumigen, isolierten Sedimentationsbecken angehören könnte. Weitere Vorkommen werden durch Unger et al. (1995) nordöstlich bei Rettchensdorf im Bereich des Lausitzer Grenzwalls und weiter nördlich bei Calau vermutet.

Das Profil wurde durch Seifert (1989) mit einer unsicheren Zuordnung des Profiltiefsten zur PZ 2 (*Kiefern-Birken-Fichten-Erlen-Eschen-Zeit*), in die PZ 3 (*Hasel-Eiben-Fichten-Zeit*) der Holstein-Warmzeit sensu Erd (1973) eingestuft (Abb. 7). Bezüglich des fraglichen Alters der Profilbasis ist die schon erfolgte Etablierung wärmeliebender Kiefern- und Fichten-reicher Eichenmischwälder mit Eiche (*Quercus*) und Esche, wenig Ulme und Linde (*Tilia*) sowie vor allem Hasel (*Corylus*) und Eibe (*Taxus*) in der Strauchschicht als Argument für eine Zugehörigkeit zur PZ 3 anzuführen. Die Probe aus dem Topbereich zeigt die beginnende Ausbreitung von Hainbuche (*Carpinus*) und Tanne (*Abies*) und leitet in die nachfolgende PZ 4 (*Hainbuchen-Tannen-Hasel-Fichten-Zeit*) über.

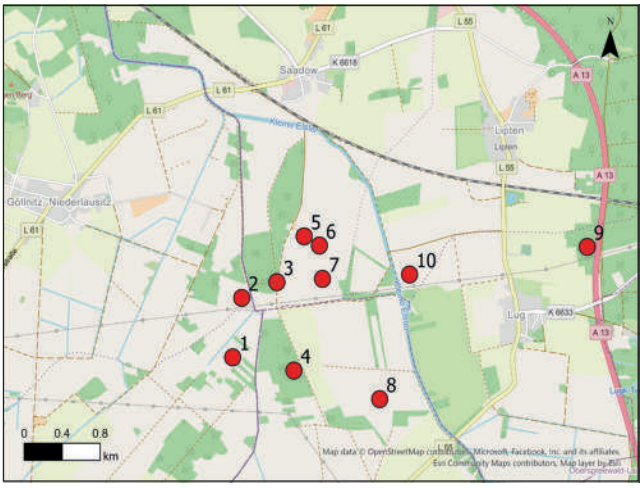


Abb. 5:
Lage der Bohrungen im Umfeld der Bohrung Brk CaS 3919A3/89 (7) und der vermutlich ebenfalls holsteinzeitliche Sedimente führenden Bohrung Brk Doch 6175/87 (5): 1 – Brk Doch 6180/88; 2 – Brk Doch 6174/88; 3 – Brk CaS 3943/86; 4 – Brk Doch 6197/87; 6 – Brk CaS 3942/86: 8 – Brk Doch 6215/87; 9 – Brk Kwi 3235/82; 10 – Hy Lipt 1/71

Fig. 5:
Location of the boreholes in the vicinity of borehole Brk CaS 3919A3/89 (7) and borehole Brk Doch 6175/75 (5), which presumably also contains Holsteinian sediments: 1 – Brk Doch 6180/88; 2 – Brk Doch 6174/88; 3 – Brk CaS 3943/86; 4 – Brk Doch 6197/87; 6 – Brk CaS 3942/86: 8 – Brk Doch 6215/87; 9 – Brk Kwi 3235/82; 10 – Hy Lipt 1/71

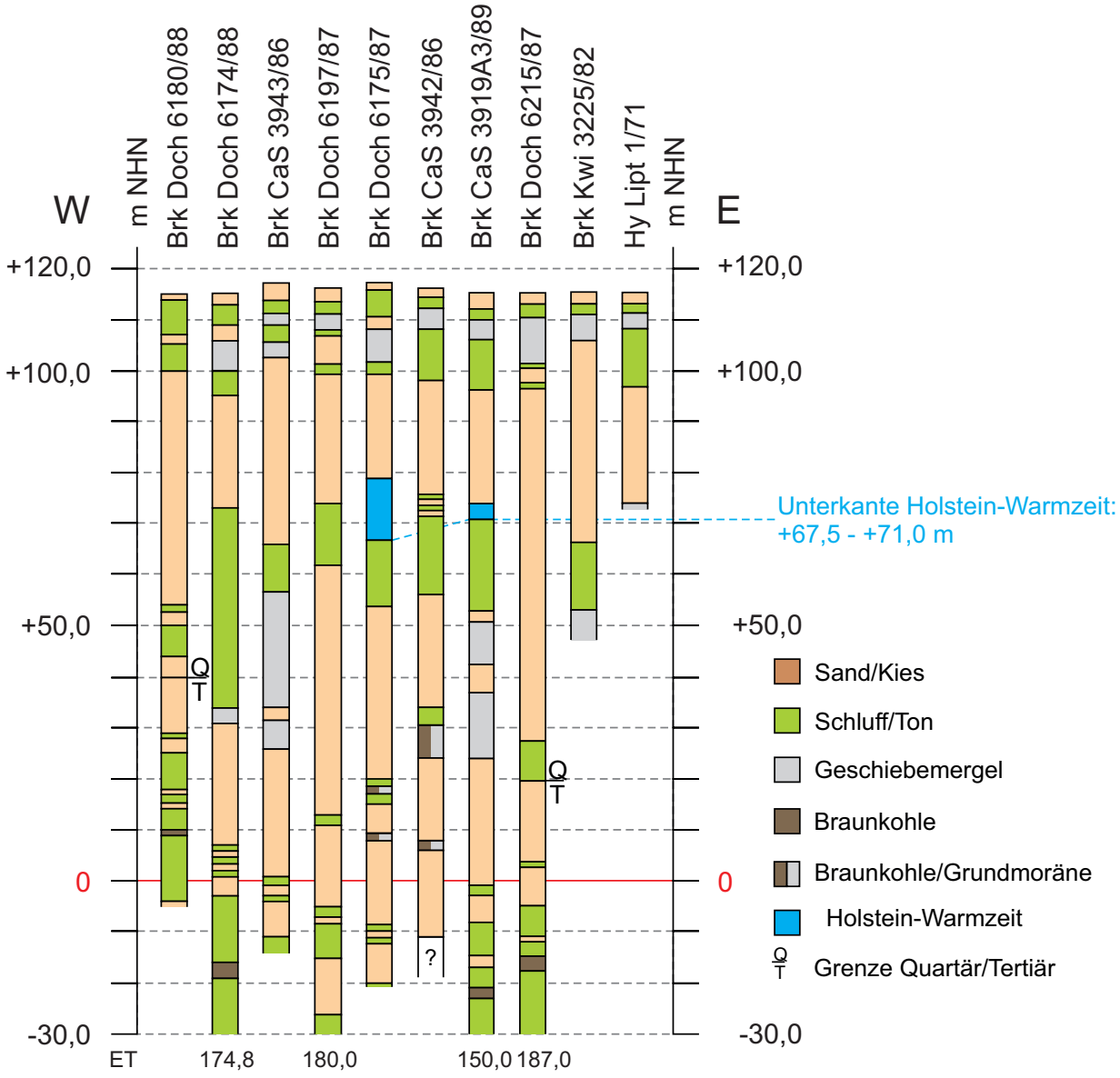


Abb. 6: Schematisierte W–E-Darstellung der Schichtenfolgen von Bohrungen im Bereich des Luger Beckens unter Hervorhebung des NHN-Niveaus der holsteinzeitlichen Ablagerungen.
Fig. 6: Schematised W–E representation of the layer sequences of boreholes in the area of the Luger Becken, highlighting the NHN level of the Holsteinian deposits.

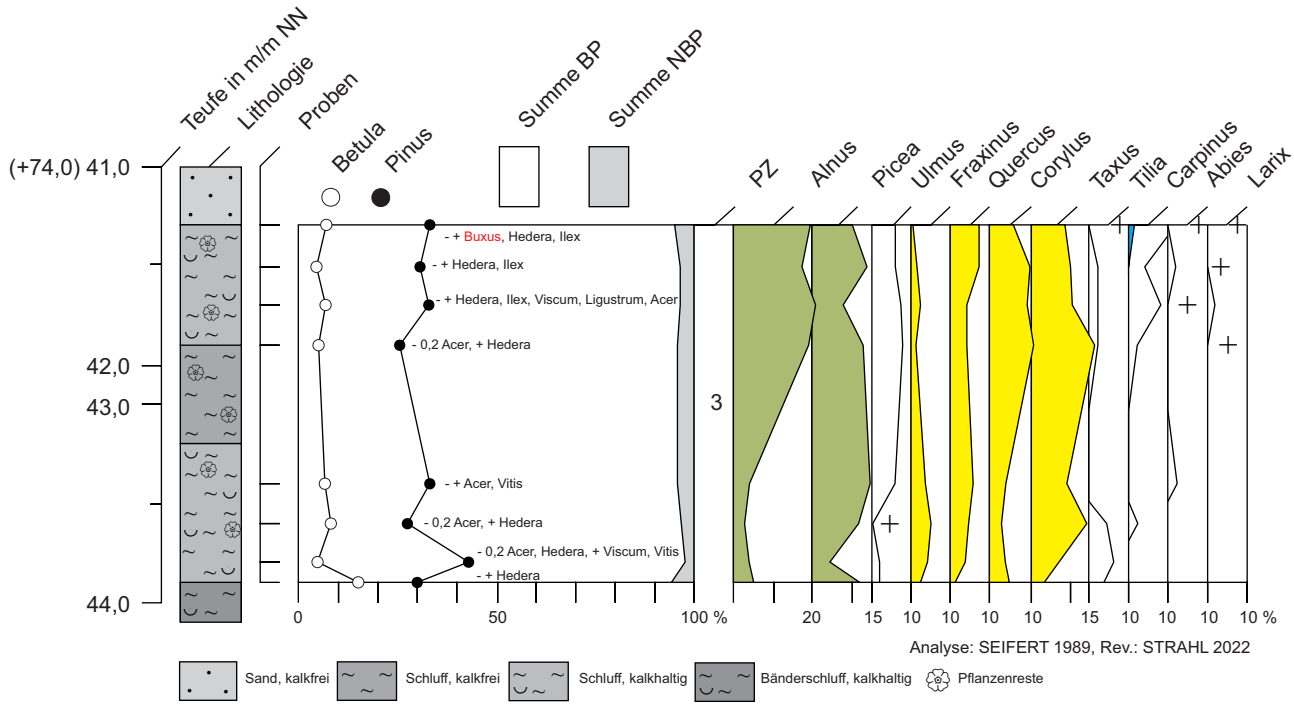


Abb. 7: Gekürztes Pollendiagramm der holsteinzeitliche Ablagerungen der Bohrung Brk CaS 3919A3/89, ausgewählte Taxa
Grundsumme: BP + NBP = 500–600 = 100 %, ausgenommen: Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Moose, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, prä-quartäre Sporomorphen, BP = Baumpollen, NBP = Nichtbaumpollen, PZ = Pollenzone

Fig. 7: Simplified pollen diagram of the Holsteinian sediments of borehole Brk CaS 3919A3/89, selected taxa
Basic sum: BP + NBP = 500–600 = 100 %, excluding swamp and aquatic plants, ferns, mosses, algae, plankters and other micro-remains, pre-Quaternary sporomorphs, BP = tree pollen, NBP = non-tree pollen, PZ = pollen zone

2.3 Die Becken von Strauch, Skaup und Skässchen (N-Sachsen)

Die zwischen drei und acht Kilometern südwestlich von Hirschberg, hinter der brandenburgischen Grenze dokumentierten sächsischen Holstein-Vorkommen von Strauch, Skaup und Skässchen (Abb. 8) liegen im Vergleich mit den vorab beschriebenen brandenburgischen Vorkommen naturräumlich bereits in der Übergangszone zum südlich anschließenden Randsaum der Mittelgebirge (Scholz 1962). Innerhalb nach der Elster-Kaltzeit verbliebener kleiner Rinnenrestseen (Skaup, Strauch) und eines isolierten Toteisbeckens (Skässchen) wurde über elsterzeitlichen glazilimnischen Mittel- und Grobsanden eine final durch Torfbildung abgeschlossene Verlandungsfolge aus Schluff-, Diatomeen- und Detritusmudden akkumuliert, die ohne jeglichen fluviatilen Einfluss blieb (Steding 1988; Abb. 9–14). Diese Sedimentabfolgen liefern im Unterschied zu den fragmentarischen Holstein-Vorkommen aus dem Tagebau Grünewalde und dem Luger Becken ein nahezu komplettes Bild der Vegetationsentwicklung vom frühen Holstein der PZ 1 bis hinein in die anschließende Fuhne-Kaltzeit (Seifert 1983, 1988). Das Tiefenniveau der Holstein-Unterkante liegt in diesem Gebiet zwischen +105 und +122 m NHN (Abb. 9). Die nahe (teils sogar direkt) an der Oberfläche anstehenden Sedimente werden diskordant durch Saale-kaltzeitliche Sande und Geschiebemergel/-lehm (Grundmoräne) überdeckt.

Die ältesten, der frühen Holstein-Warmzeit (allgemein PZ 1, *Birken-Kiefern-Zeit*) zuzuordnenden Sedimente wurden in der Bohrung Kig Src 3/87 im Bereich des Feldes Strauch (Abb. 8, Nr. 3, Abb. 10) erfasst. Das aus einer Feindetritusmudde an der Basis der Bohrung stammende und von Seifert (1988) ursprünglich in die PZ 2 (*Kiefern-Birken-Fichten-Erlen-Eschen-Zeit*) eingestufte Pollenspektrum reflektiert die Etablierung von Birken-Beständen mit wenig Kiefer, Wacholder und Weide (*Salix*). Thermophile Gehölze sind nur spurenhaft vertreten und insbesondere die sehr geringen Werte von Erle und Fichte lassen eine Zugehörigkeit noch zur PZ 1 plausibler erscheinen. Zudem besteht ein scharfer Wechsel zwischen Feindetritus- und darüber folgenden Schluffmudden, deren Basis bereits in die PZ 4 (PZ 3/4 nach Seifert 1988) datiert.

Tatsächlich in die PZ 2 gehörende Profilabschnitte wurden dagegen in allen drei Feldern in den Bohrungen Kig Src 1/87 (Abb. 8, Nr. 2, Abb. 11), Kig Src 17/87 (Abb. 8, Nr. 1, Abb. 12) und Kig Src 22/87 (Abb. 8, Nr. 4, Abb. 13) ermittelt.

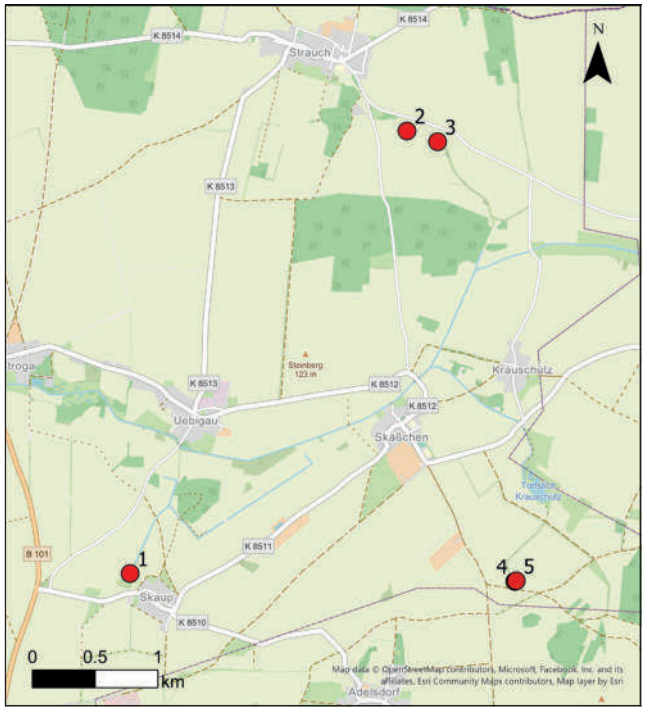


Abb. 8:
Lage der Bohrungen der auf holsteinzeitliche Kieselgur erkundeten Felder Skaup, Strauch und Skässchen (Steding 1988) unter Hervorhebung der pollenanalytisch untersuchten Bohrungen (Seifert 1983, 1988) (Bohrungsdaten Sachsen: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie LfULG):
1 – Kig Src 17/87; 2 – Kig Src 1/87; 3 – Kig Src 3/87;
4 – Kig Src 22/87; 5 – Hy SöfGn 21/83

Fig. 8:
Location of the boreholes in the Skaup, Strauch and Skässchen fields explored for Holsteinian diatomaceous earth (Steding 1988), highlighting the boreholes analysed for pollen (Seifert 1983, 1988) (Borehole data Saxony: Saxon State Office for Environment, Agriculture and Geology LfULG):
1 – Kig Src 17/87; 2 – Kig Src 1/87; 3 – Kig Src 3/87;
4 – Kig Src 22/87; 5 – Hy SöfGn 21/83

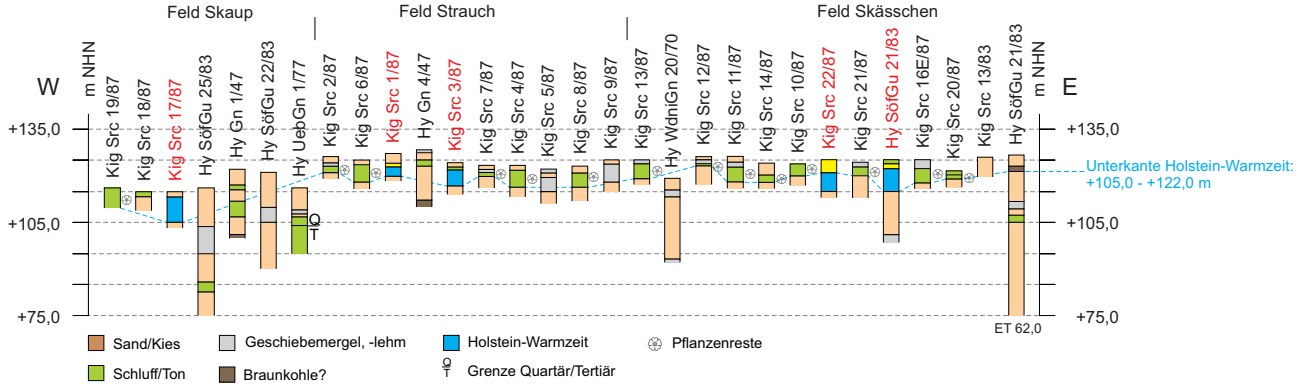


Abb. 9: Schematisierte W–E-Darstellung der Schichtenfolgen von Bohrungen im Bereich der auf Kieselgur erkundeten Felder Skaup, Strauch und Skässchen (Steding 1988) unter Hervorhebung des NHN-Niveaus der holsteinzeitlichen Ablagerungen (Rot = pollenanlytisch untersuchte Bohrungen) (Bohrungsdaten Sachsen: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie LfULG).

Fig. 9: Schematised W–E representation of the layer sequences of boreholes in the area of the Skaup, Strauch and Skässchen fields explored for diatomaceous earth (Steding 1988), highlighting the NHN level of the Holsteinian deposits (red = boreholes analysed for pollen) (Borehole data Saxony: Saxon State Office for Environment, Agriculture and Geology LfULG).

Während die Pollendiagramme der Bohrungen Kig Src 17/87 und Kig Src 22/87 Abschnitte der frühen PZ 2 mit einer lichten Birken-Kiefern- bzw. Kiefern-Birken-Bewaldung zeigen, in der sich Erle und Fichte erst beginnen auszubreiten, ist in der Bohrung Kig Src 1/87 diese Ausbreitung bereits vollzogen. Immer noch beteiligt sind während der PZ 2 Wacholder und Weide, was wohl zur altersgleichen Auffassung des oben beschriebenen Pollenspektrums aus der Bohrung Kig Src 3/87 führte. Ein wesentlicher Unterschied besteht jedoch neben den höheren Erlen- und Fichten-Werten in der in allen drei Profilen geschlossenen und deutlich über 1 % liegenden Eschen-Kurve.

Ablagerungen der PZ 3 (*Hasel-Eiben-Fichten-Zeit*) sind in allen drei Feldern mit Ausnahme der Bohrung Kig Src 3/87 ausgebildet. Insbesondere in den Bohrungen Kig Src 17/87 (Abb. 12), Kig Src 22/87 (Abb. 13) und Hy SöfGn 21/83 (Abb. 8, Nr. 5, Abb. 14) weist die Eibe hohe Pollenfrequenzen, teils von mehr als 25 % (Kig Src 17/87) auf. Die höchsten Fichten-Werte (um 15 %) werden vor dem Steilanstieg der Eiben-Kurve erreicht. Die Hasel bleibt bis auf die Bohrungen Kig Src 22/87 (Abb. 13) und Kig Src 1/87 (Abb. 11) während der PZ 3 und der nachfolgenden PZ 4 unter 10 %. In den Bohrungen Kig Src 3/87 (Abb. 10), Kig Src 1/87 (Abb. 11) und Hy SöfGn 21/83 (Abb. 14)

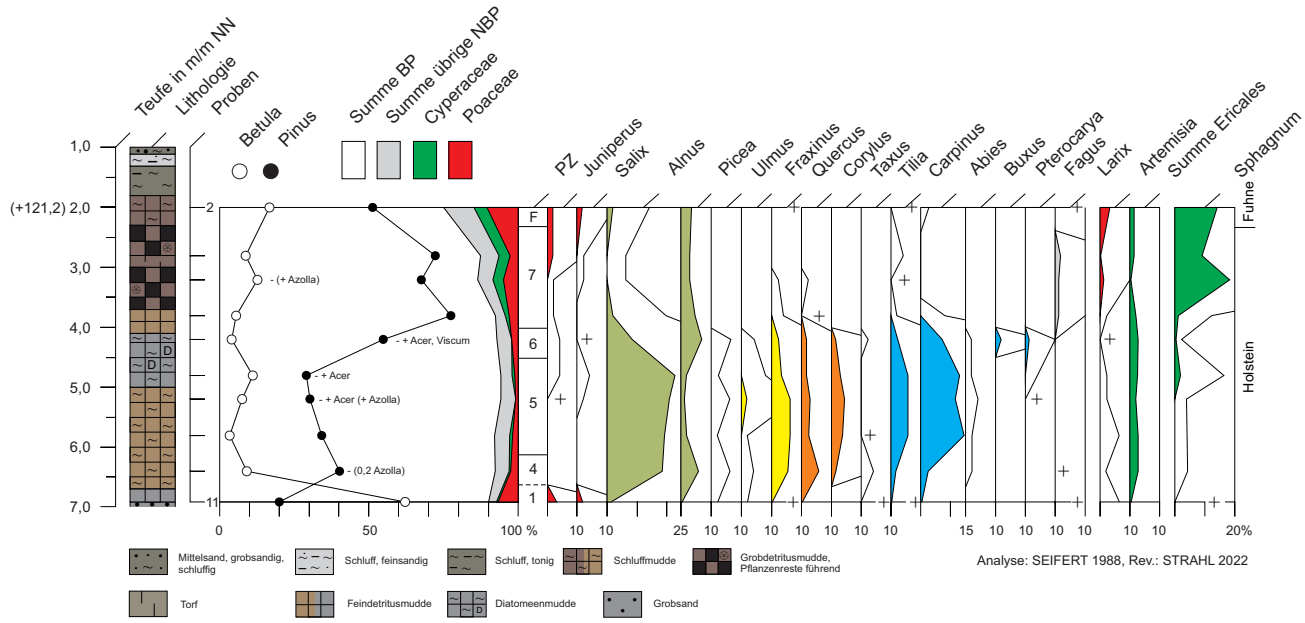


Abb. 10: Gekürztes Pollendiagramm der holstein- und fuhnezeitlichen Ablagerungen der Bohrung Kig Src 3/87, (Feld Strauch), ausgewählte Taxa
Grundsumme: BP + NBP = 500 = 100 %, ausgenommen: Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Moose, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, prä-quartäre Sporomorphen, BP = Baumpollen, NBP = Nichtbaumpollen, PZ = Pollenzone, F = Fuhne

Fig. 10: Simplified pollen diagram of the Holsteinian and Fuhne sediments of borehole Kig Src 3/87, (field Strauch), selected taxa
Basic sum: BP + NBP = 500 = 100 %, excluding swamp and aquatic plants, ferns, mosses, algae, plankters and other micro-remains, pre-Quaternary sporomorphs, BP = tree pollen, NBP = non-tree pollen, PZ = pollen zone, F = Fuhne

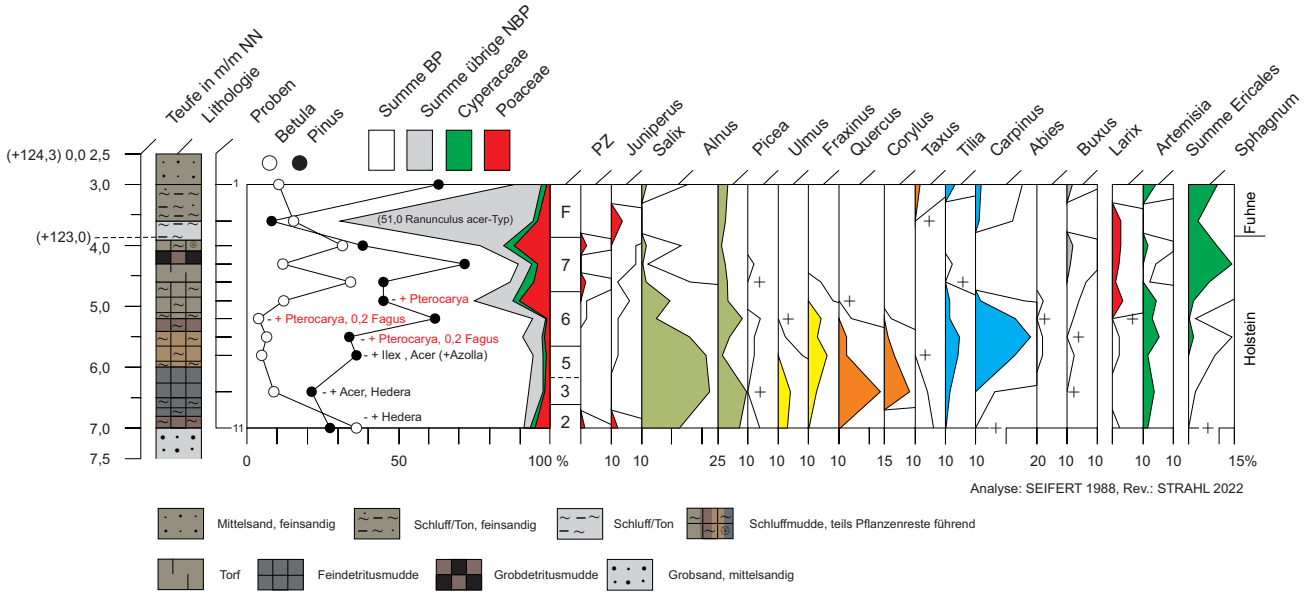


Abb. 11: Gekürztes Pollendiagramm der holstein- und fuhnezeitlichen Ablagerungen der Bohrung Kig Src 1/87, (Feld Strauch), ausgewählte Taxa
Grundsumme: BP + NBP = ≤ 500 = 100 %, ausgenommen: Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Moose, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, prä-quartäre Sporomorphen, BP = Baumpollen, NBP = Nichtbaumpollen, PZ = Pollenzone, F = Fuhne

Fig. 11: Simplified pollen diagram of the Holsteinian and Fuhne sediments of borehole Kig Src 1/87, (field Strauch), selected taxa
Basic sum: BP + NBP = ≤ 500 = 100 %, excluding swamp and aquatic plants, ferns, mosses, algae, plankters and other micro-remains, pre-Quaternary sporomorphs, BP = tree pollen, NBP = non-tree pollen, PZ = pollen zone, F = Fuhne

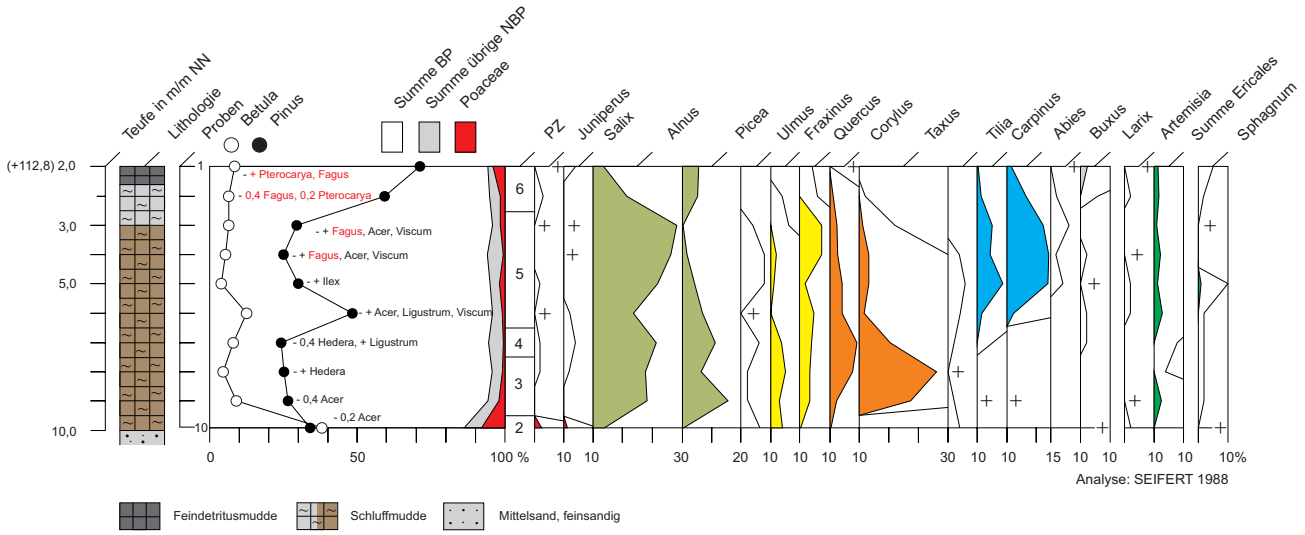


Abb. 12: Gekürztes Pollendiagramm der holsteinzeitlichen Ablagerungen der Bohrung Kig Src 17/87, (Feld Skaup), ausgewählte Taxa
Grundsumme: BP + NBP = 500 = 100 %, ausgenommen: Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Moose, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, prä-quartäre Sporomorphen, BP = Baumpollen, NBP = Nichtbaumpollen, PZ = Pollenzone

Fig. 12: Simplified pollen diagram of the Holsteinian and Fuhne sediments of borehole Kig Src 17/87, (field Skaup), selected taxa
Basic sum: BP + NBP = 500 = 100 %, excluding swamp and aquatic plants, ferns, mosses, algae, plankters and other micro-remains, pre-Quaternary sporomorphs, BP = tree pollen, NBP = non-tree pollen, PZ = pollen zone

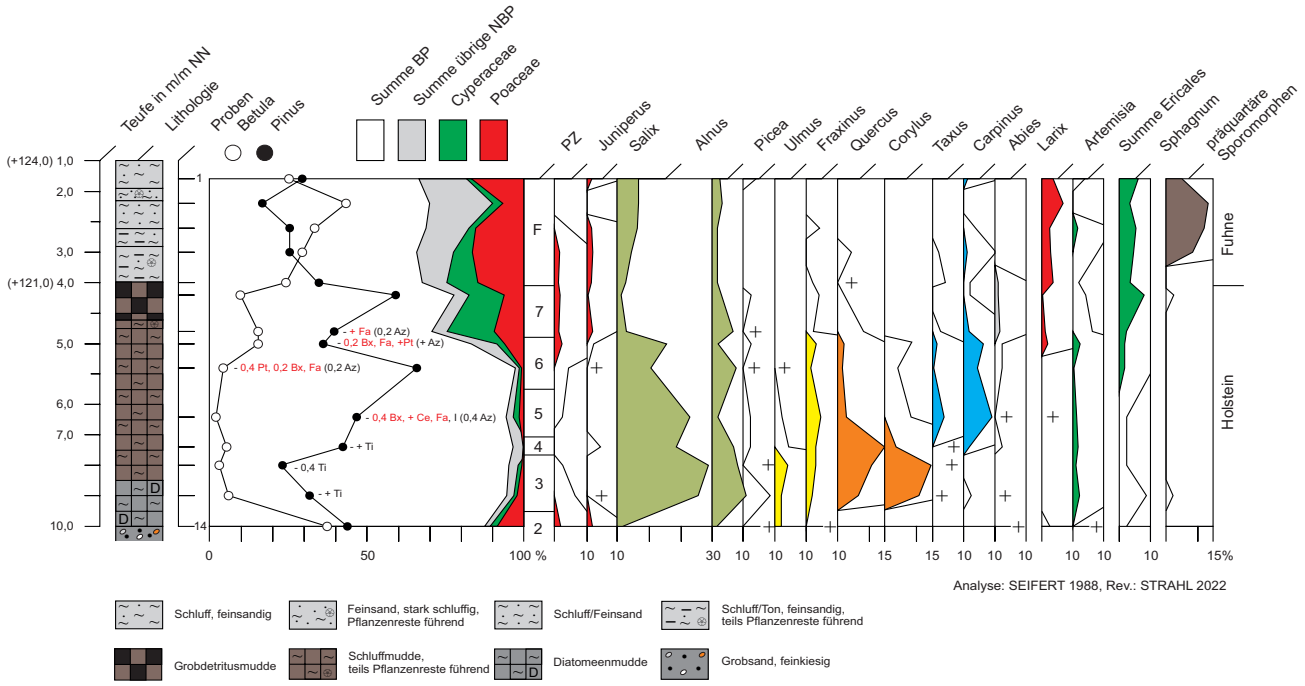


Abb. 13: Gekürztes Pollendiagramm der holstein- und fuhnezeitlichen Ablagerungen der Bohrung Kig Src 22/87 (Feld Skässchen), ausgewählte Taxa
Grundsumme: BP + NBP = ≤ 500 = 100 %, ausgenommen: Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Moose, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, prä-quartäre Sporomorphen, BP = Baumpollen, NBP = Nichtbaumpollen, PZ = Pollenzone, F = Fuhne
Az = Azolla, Bx = Buxus, Ce = Celtis, Fa = Fagus, I = Ilex, Pt = Pterocarya, Ti = Tilia

Fig. 13: Simplified pollen diagram of the Holsteinian and Fuhne sediments of borehole Kig Src 22/87, (field Skässchen), selected taxa
Basic sum: BP + NBP = ≤ 500 = 100 %, excluding swamp and aquatic plants, ferns, mosses, algae, plankters and other micro-remains, pre-Quaternary sporomorphs, BP = tree pollen, NBP = non-tree pollen, PZ = pollen zone, F = Fuhne
Az = Azolla, Bx = Buxus, Ce = Celtis, Fa = Fagus, I = Ilex, Pt = Pterocarya, Ti = Tilia

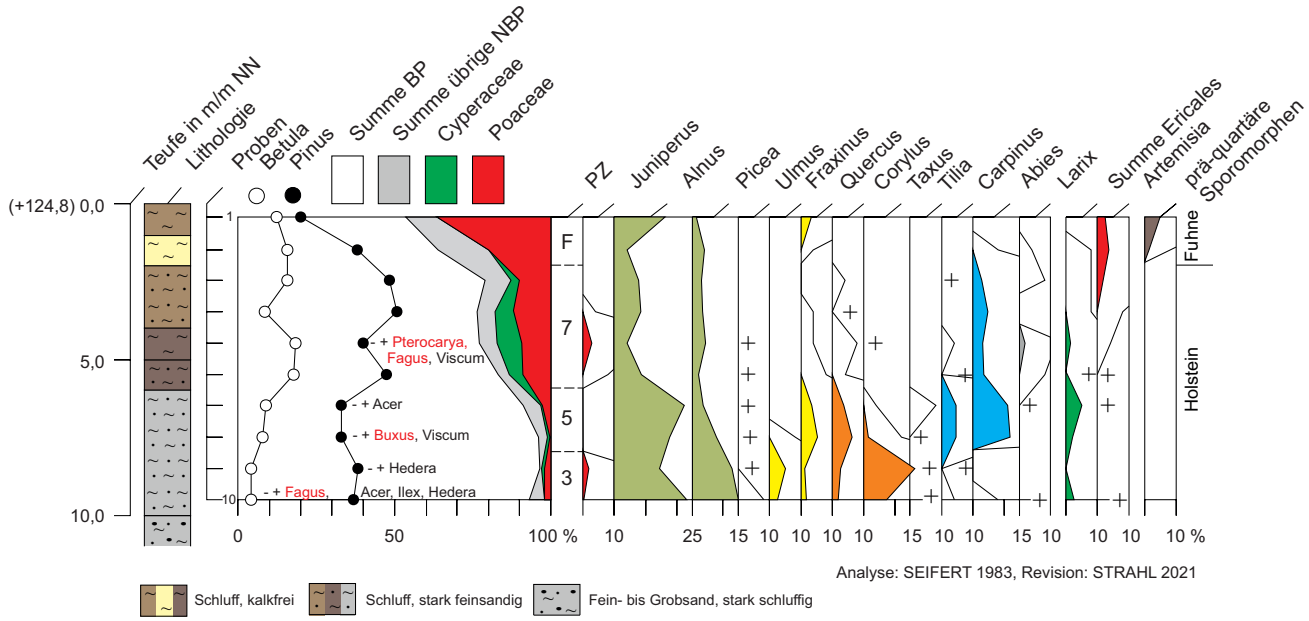


Abb. 14: Gekürztes Pollendiagramm der holstein- und fuhnezeitlichen Ablagerungen der Bohrung Hy SöfGn 21/83 (Feld Skässchen), ausgewählte Taxa
Grundsumme: BP + NBP = 250 = 100 %, ausgenommen: Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Moose, Algen, Plankter u. a. Mikroreste, prä-quartäre Sporomorphen, BP = Baumpollen, NBP = Nichtbaumpollen, PZ = Pollenzone, F = Fuhne

Fig. 14: Simplified pollen diagram of the Holsteinian and Fuhne sediments of borehole Hy SöfGn 21/83, (field Skässchen), selected taxa
Basic sum: BP + NBP = 250 = 100 %, excluding swamp and aquatic plants, ferns, mosses, algae, plankters and other micro-remains, pre-Quaternary sporomorphs, BP = tree pollen, NBP = non-tree pollen, PZ = pollen zone, F = Fuhne

wurden die PZ 3 und 4 durch Seifert (1983, 1988) nicht eindeutig ausgewiesen. In der Hy SöfGn 21/85 setzt sich die PZ 3 als solche durch ein Eiben-Maximum, einen hohen Fichten-Wert und das nahezu Fehlen von Hainbuche und Tanne gut ab. Zudem besteht eine gegebenenfalls nur durch den Probenabstand bedingte Schichtlücke zur PZ 5. Die aus den Bohrungen Kig Src 3/87 und Kig Src 1/87 betreffenden Diagrammabschnitte sind in ihrer Zugehörigkeit zur PZ 3 oder 4 dagegen schwieriger zu bewerten. In der Kig Src 1/87 spräche zwar der im Vergleich zur Kig Src 22/87 ermittelte gleichhohe Hasel-Wert von rd. 15 % eventuell für eine Einstufung in die PZ 4, doch ist die Eschen-Kurve noch nicht abgesunken und die Tanne tritt kaum in Erscheinung. Auch ist der Eiben-Wert noch deutlich zu hoch. Hier wäre eine Einstufung in die PZ 3 als wahrscheinlicher anzusehen. In der Kig Src 3/87 sind dagegen Esche und Eibe bereits deutlich zurück gegangen und sowohl die Hainbuchen- als auch die Tannen-Kurve befinden sich im Anstieg, so dass eine Einstufung in die PZ 4 gerechtfertigt erscheint.

Ablagerungen der PZ 4 (*Hainbuchen-Tannen-Hasel-Fichten-Zeit*) wurden außer in der Kig Src 3/87 in eindeutigerer Ausbildung vor allem in den Bohrungen Kig Src 17/87 (Abb. 12) und Kig Src 22/87 (Abb. 13) erfasst. Generell ist ein allmählicher Rückgang bei Fichte und Eibe und ein deutlicher bei der Esche zu verzeichnen. Die Hasel zeigt weiterhin höhere bis Maximal-Werte (Kig Src 22/87). Auffällig ist ein erhöhter Kiefern-Wert in der Kig Src 17/87, der mit der beginnenden Ausbreitung von Hainbuche und Tanne zusammenfällt und zu einem Rückgang insbesondere der Erle und der Hasel führt. Aufgrund der großen Probenabstände ist nicht zu entscheiden, ob es sich um ein klimatisches Ereignis (Jüngerer Kiefern-Vorstoß sensu Müller 1974) oder um eine lokale Besonderheit handelt.

Die holsteinzeitliche Schattholz-Phase mit ihrer typischen Hainbuchen-Tannen-Verbreitung während der PZ 5 und 6 (*Hainbuchen-Tannen-Zeit*) ist in allen Bohrungen belegt (in der Hy SöfGn 21/83 PZ 6 fehlend). Allerdings wurden nicht immer beide Vegetationsabschnitte konsequent trotz des für die PZ 6 typischen Auftretens der Flügelnuß (*Pterocarya*) voneinander getrennt (Kig Src 3/87, 1/87 und 22/87). Während des Gesamtzeitraums sind nur niedrige, teilweise um 5 % pendelnde Hainbuchen-Anteile festzustellen, die durch Seifert (1988) standörtlich bedingt (Moorbildung) interpretiert werden.

Die PZ 5 zeichnet sich durch einen Rückgang vor allem der Fichte, aber auch der Hasel und der Eibe sowie eine teils nur leichte Ausbreitung der Eiche aus. Überdies sind in diesem Abschnitt die höchsten Werte, wenn auch unter 1 % bleibend, bei Linde (*Tilia*) und Buchsbaum (*Buxus*) zu verzeichnen. Die PZ 5 ist der Hauptverbreitungszeitraum des Zürgelbaums (*Celtis*) als stratigraphisch relevantes Gehölz

innerhalb der Bewaldung. Standörtlich gefördert ist außerdem die weiterhin mit hohen Pollenfrequenzen bis in die PZ 6 hinein verbreitete Erle.

Während der PZ 6 kommt es zu einer Erholung der Fichten-Bestände bei sich zeitgleich deutlich erhöhenden Kiefern-Anteilen. Die Eibe verliert weiter an Boden und klingt teilweise sogar aus. Während der Buchsbaum häufig bleibt, wird der Zürgelbaum durch die Flügelnuss abgelöst. Entsprechend wurden die Pollendiagramme der Bohrungen Kig Src 3/87, 1/87 und 22/87 (Abb. 10, 11 und 13) ebenso wie das Pollendiagramm der Bohrung Hy SöfGn 21/83 (Abb. 14), hier hinsichtlich des Fehlens der PZ 6, angepasst.

Ablagerungen der PZ 7 (*Kräuter-Kiefern-Birken-Zeit*) und der nachfolgenden Fuhne-Kaltzeit fehlen lediglich in der Bohrung Kig Src 17/87. Unter sich einstellenden borealen Klimabedingungen vollzog sich ein grundlegender Waldumbau hin zu Kiefern-dominierten Beständen. Wichtigste Begleitgehölze neben der Birke waren die Fichte und die Lärche (*Larix*) und nur in der Hy SöfGn 21/83 weiterhin die Tanne. Auch Wacholder und Weide wurden wieder häufiger. Bedingt durch das zunehmend kälter werdende Klima gingen thermophile Gehölze zurück. In Verbindung mit der beginnenden Öffnung des Walddaches breiteten sich lichtliebende Pflanzen innerhalb der Krautschicht aus. Neben Süßgräsern (Poaceae) sind dabei vor allem verschiedene Heidekrautgewächse (Ericaceae) und der Beifuß zu nennen.

Für den Übergang in die Fuhne-Kaltzeit ist eine Zunahme erosiver Prozesse zu konstatieren. Sie finden neben teils raschen Sedimentwechseln ihren Ausdruck in der Zunahme umgelagerter prä-quartärer und auch holsteinzeitlicher Sporomorphen. Ansonsten präsentiert sich seitens der Vegetationsentwicklung ein sehr einheitliches Bild: Die Bewaldung ist auf schüttere, mit Wacholder durchsetzte Birken-Kiefern-Bestände reduziert, in denen zumindest noch zeitweise Fichten vorkamen. Nach wie vor vorhandene Feuchtstandorte blieben Weiden und Erlen sowie zahlreich vertretenen Torfmoosen vorbehalten. Für die pollenstratigraphische Gliederung der Fuhne-Kaltzeit ist hinsichtlich des Stadials A das gehäufte Auftreten von Heidekrautgewächsen kennzeichnend, die in diesem Fall gegenüber dem sich ausbreitenden Beifuß eher zurücktreten. Aufgrund der erosiven Kappung der Sedimente ist keine weitere Aussage zum vegetationsgeschichtlichen Ablauf und damit keine eindeutige altersmäßige Einstufung der erhaltenen Profilabschnitte innerhalb der Fuhne-Kaltzeit möglich.

Zusammenfassung

Im Bereich des Lausitzer Grenzwalls (Brandenburg) und des Lausitzer Tals (Sachsen) sind zwischen Calau und Großenhain nur lokal begrenzt kleinräumige, meist an Toteishohlformen oder flache Rinnen gebundene Holstein-Vorkommen nachgewiesen worden. Im Gegensatz zu den Vorkommen der östlichen Niederlausitz (u. a. ehemalige Kohlefelder Jänschwalde und Cottbus-Nord) zeigen diese durch Stillwassersedimente, wie Schluff-, Kalk- und Diatomeenmudden geprägten Vorkommen erst postholsteinzeitlich eine fluviatile Beeinflussung. In der Zusammenschau belegen die pollenanalytischen Untersuchungen mehr oder weniger vollständige Holstein-Sequenzen vor allem für das Lausitzer Tal zwischen Hirschberg und Großenhain.

Summary

In the area of the Lausitzer Grenzwall (Brandenburg) and the Lausitzer Valley (Saxony) between Calau and Großenhain, only local small-scale Holsteinian deposits, which are mostly linked to dead ice hollows or shallow channels, have been identified. In contrast to the deposits in eastern Lower Lausitz (including the former Jänschwalde and Cottbus-Nord coalfields), these deposits, which are characterised by still water sediments such as silt, limestone and diatom muds, only show fluvial influence in the post-Holsteinian period. The pollen analyses show more or less complete Holsteinian sequences, especially for the Lausitz valley between Hirschberg and Großenhain.

Literatur:

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

Erd, K. (1983): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung des Schurfes Tagebau Grünewalde 1963, Profil 1 und der Einzelprobe 534 aus dem Tagebau Grünewalde. – Bericht ZGI Berlin vom 03.02.1983, 6. S., Berlin (unveröff.)

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

Müller, H. (1974): Pollenanalytische Untersuchungen und Jahresschichtenzählungen an der Holstein-zeitlichen Kieselgur von Munster-Breloh. – Geol. Jb. **A21**, S. 107–140

Lippstreu, L., Hermsdorf, N., Sonntag, A. & J. Strahl (2015): 3.3.3 Quartär. – In: Stackebrandt, W. & D. Franke (Hrsg.): Geologie von Brandenburg. – S. 333–438, Stuttgart (Schweizerbart)

Rütters, S., Schmidt, S., Franke-Laske, D., Knoblauch-Sassenscheidt, M. & L. Graffmann (2025): Geologisches 3D-Modell der Lausitz – Aufbau eines länderübergreifenden Modells der känozoischen Schichtenfolgen. – Brandenburg. geowiss. Beitr. **32**, S. 69–80

Scholz, E. (1962): Die geomorphologische Gliederung Brandenburgs. – S. 83–92, Potsdam

Seifert, M. (1983): Bericht über die pollenanalytische Untersuchung des Bohrobjektes Schönfeld Hy 21/83. – Bericht VEB GFE BT Freiberg vom 29.08.1983, 4 S., 2 Anl., Freiberg (GA 01411, unveröff.)

Seifert, M. (1988): Bericht über die pollenanalytischen Untersuchungen von vier Bohrungen aus dem Objekt Kieselgur Strauch. – Bericht VEB GFE BT Freiberg vom 11.07.1988, 11 S., 4 Tab., 2 Anl., Freiberg (unveröff.). – In: Steding, D. (1988): Ergebnisbericht Suche Kieselgur Strauch (Krs. Großenhain) 1988. – Bericht VEB GFE BT Freiberg vom 12.12.1988, 134 S., Freiberg (EB 02144, unveröff.)

Seifert, M. (1989): Das Holstein-Interglazial von Calau Süd. – Bericht VEB GFE BT Freiberg vom 20.06.1989, 8 S., Freiberg (EB 02144, unveröff.)

Sonntag, A. (2004): Geologische Übersichtskarte 1 : 100 000, 12, Landkreise Elbe-Elster Oberspreewald-Lausitz. – Karte und Beiheft, Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg und Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg, Kleinmachnow, Potsdam

Steding, D. (1988): Ergebnisbericht Suche Kieselgur Strauch (Krs. Großenhain) 1988. – Bericht VEB GFE BT Freiberg vom 12.12.1988, 134 S., Freiberg (EB 02144, unveröff.)

Strahl, J. (2023): Revision der palynostratigraphischen Gliederungen der Holstein-Warmzeit und des Unter Saale Berlin-Brandenburgs. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **30**, S. 7–37

Strahl, J. & R. Zwirner (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

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. – Brandenburgische Geowiss. Beitr. **11**, 1/2, S. 89–95

Strahl, J. & S. Rütters (2025): Erläuterungen zu den Karten der Quartärbasis und der limnischen und limnisch-fluviatilen Ablagerungen der Holstein-Warmzeit und des Unter-Saale in Brandenburg und Berlin: Teil 1 – Klüß-Gartow- und Gorlebener Rinne. – Brandenburg. geowiss. Beitr. **32**, S. 31–55

Thieke, H. U. (2010): Mittelpleistozäner Berliner Elbelauf 1 : 1 000 000. – In: Stackebrandt, W. (Hrsg.): Atlas zur Geologie von Brandenburg. – Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, S. 50–51, Cottbus

Unger, K. P., Hübner, F. & D. Escher (1995): Holstein- und Eem-Interglaziale im Bereich des Lausitzer Grenzwalles und die Gliederung der Saalevereisung zwischen Baruther und Lausitzer Urstromtal. – Eiszeitalter u. Gegenwart **45**, S. 24–31

Anschrift der Autorin:

Jaqueline Strahl
Landesamt für Bergbau, Geologie
und Rohstoffe Brandenburg
Inselstraße 26
03046 Cottbus
jaqueline.strahl@lbgr.brandenburg.de

Aus den laufenden Arbeiten des Geologischen Dienstes: Eingebettet in Mudden des Alleröd – Lage der Laacher See Tephra aus dem Bredower Forst zwischen Falkensee und Brieselang (Foto: O. Juschus 28.11.2024)

Brandenburg. Geowiss. Beitr.	Cottbus	Bd. 32/2025	S. 95–122	16 Abb., 49 Lit.

Von der Urhavel zum heutigen Havellauf – Zur weichselspätglazialen und frühholozänen Flussentwicklung der Havel*

From Paleo-Havel to present Havel River – On Late Pleistocene to Early Holocene river development of Havel River

Olaf Juschus, Claus Dalchow, Ralf Dannowski, Sławomir Kowalski, Jaqueline Strahl & Mirosław Błaszkiewicz

Dieser Artikel ist Bernhard Nitz, dem akademischen Lehrer des Erstautors, gewidmet.

Einleitung und Forschungsgeschichte zur Flussentwicklung im Havelland

Untersuchungen zur Flussgeschichte von Havel und Elbe besitzen im Gebiet ihres Zusammenlaufens eine lange Tradition. Hierbei wurde der Havel, wenn überhaupt, nur eine untergeordnete Rolle bei der Formung ihres Mittel- und Unterlaufs zugewiesen. Der Fluss folgt dabei nicht den kürzeren Wegen über das Eberswalder bzw. das Berliner Urstromtal nach Westen, sondern nimmt mit seinem W-förmigen Verlauf über Potsdam einen „großen Umweg in Kauf“ (vgl. Zaumseil 2017 sowie Buchta & Zaumseil 2017). So wurde aus allgemeinen Überlegungen wiederholt davon ausgegangen, dass der Fluss zunächst den Urstromtalungen folgte und der kürzere Verlauf über das Eberswalder Tal bzw. das Berliner Tal aktiv war (Marcinek, Seifert & Zaumseil 1995; Buchta & Zaumseil 2017). Erst mit dem Austauen von Toteis im Bereich der heutigen Wannsee-Havel ging der aktuelle Havellauf, der über große Strecken glazialen Rinnen folgt, in Funktion. Die bisher existierenden Darstellungen zur spätweichselzeitlichen Flussgeschichte der Havel sind allerdings stets allgemein und ausgesprochen vage gehalten (vgl. Marcinek, Seifert & Zaumseil 1995).

Für das Alt- und Mittelholozän fehlen Untersuchungen zur Flussgeschichte der Havel weitgehend; erst über die jungholozäne Beeinflussung durch den Menschen finden sich wieder Veröffentlichungen. So betonen Beschoren (1935) und Kaiser et al. (2018) die nahezu völlige Umgestaltung der frei fließenden Havel in eine Stauhaltung seit dem Mittelalter mit entsprechenden Auswirkungen auf die Grundwasserstände und das Torfwachstum.

Da die Spree bei ihrer Einmündung in die Havel in Berlin-Spandau (kurz: Spandau) der eigentliche, abflussstärkere Hauptarm des Flusssystems Spree-Havel ist, sei noch auf Untersuchungen entlang der Spree innerhalb des Jungmoränenlandes eingegangen. Es fällt auf, dass die Spree in diesem Abschnitt zahlreiche Gemeinsamkeiten mit der Havel teilt, vor allem den Verlauf in ausgedehnten Urstromtalungen des Jungmoränenlandes (Weisse 2003). Auf die weichselhoch- bis -spätglaziale Entwicklung des Flusses ging erstmals detailliert Lembke (1936) ein. Die Spree benutzt nicht den kürzeren, glazifluviatil vorgezeichneten Weg direkt vom Unterspreewald nach Norden, sondern fließt stattdessen in östlicher Richtung über die Schwielochseerinne in das Berliner Urstromtal. Auch hier nimmt der Fluss einen bedeutenden „Umweg“. Nach Lembke (1936) floss die Urspree zunächst über den kürzeren Weg nach Norden ab. Erst im Weichselspätglazial ist es den bei Märkisch-Buchholz aufgewehten Dünen gelungen, die Spree nach Osten abzudrängen. Dieser Gedanke wurde auch in späteren Veröffentlichungen mehrfach erwähnt, wobei in dem Austauen von Toteisblöcken die Hauptursache der Flussablenkung gesehen wurde (z. B. Brose & Marcinek 1995). Böttner (1999) und Juschus (2003) lehnten eine Flussablenkung der Spree hingegen ab, da sich entlang des postulierten Abflusswegs keine Altläufe befinden. Forschungsgegenstand waren weiterhin die Großmäander entlang des Flusses, die signifikant größer als die rezenten Mäander sind (Schulz & Strahl 1997; Carls 1997; Juschus 2003). Ihre Bildungszeit konnte sicher in das Weichselspätglazial gestellt werden, und liegt wahrscheinlich hauptsächlich im Alleröd.

Zur Flussgeschichte der Elbe im Gebiet erschien bereits Ende des 19. Jahrhunderts die wegweisende Veröffentlichung von Keilhack (1887), die erstmals die enge Verquickung der Entwicklung der Unteren Havel mit der der benachbarten Elbe zwischen Magdeburg und Havelberg be-

* Titel in Anlehnung an Lembke (1936)

schrieb. Vor allem die Elbe zeigte nördlich von Magdeburg eine hohe Dynamik, bei der der Fluss teilweise oder vollständig in Richtung Untere Havel abfloss. Keilhack (1887) belegte seine Aussagen vor allem mit dem Vorkommen holozäner Auelehme und -tone der Elbe, die um Genthin und auch entlang der Unteren Havel weit verbreitet sind und im 19. Jahrhundert in zahlreichen Ziegeleigruben abgebaut wurden. Die Havel selbst hat in dieser Region keinen eigenen Auelehm ausgebildet (Weisse 2003). Keilhack betonte, dass die Elbe dann weitgehend dem heutigen Havellauf folgte und bei Havelberg wieder den heutigen Elbelauf erreichte. Lediglich um das Rhinower Ländchen gab es laut Keilhack (1887) einen weiter östlich verlaufenden Arm der Elbe. An diese Vorstellungen wurde von späteren Autoren wiederholt angeknüpft. Nach Beschoren (1935) griff die Elbe bei Hochwässern sogar deutlich weiter nach Osten aus und flutete weite Teile der havelländischen Niederungen. Auch das Friesacker Ländchen sei östlich umflossen worden. Darauf fußende Abbildungen finden sich auch auf der Karte von Liedtke (1975), bei Stackebrandt (2018) und bei Zwenger (2023). Mundel (1969) und Mundel, Trettin & Hiller (1983) hingegen sehen diese großen Überflutungsflächen bzw. das weite östliche Ausufern der Elbe kritisch, da sich in Torfprofilen des Havelländischen Luchs keine fluviatile Beeinflussung zeigt. Umgekehrt sogar ist nach Mundel, Trettin & Hiller (1983) das Mittelholozän im Havelland eine ausgeprägte Phase mit weitgehend stagnierendem Torfwachstum bei eher trockenen Verhältnissen. Auch Kloss (1987b) kommt mit seinen Moor- und Pollenuntersuchungen am mesolithischen Fundplatz Friesack zu ähnlichen Resultaten: Nördlich von Friesack spielen Ablagerungen der Elbe keine Rolle; ebenso gehen im Atlantikum die Sedimentationsraten zurück. Zwenger (2023) beschreibt zwar am Fundplatz zahlreiche fluviatile Strukturen, stellt sie aber in keinen größeren Zusammenhang.

Weisse (zuletzt 2003) vermerkt ebenfalls in seinen Veröffentlichungen zum Havelland die sehr weit nach Osten reichenden Altläufe der Elbe. Weiterhin beschreibt er die Elbe als stark mäandrierend. In einer seiner Abbildungen bildet die Pritzerber Laake den „Ausbruch“ der Elbwässer vom heutigen Haveltal nach Nordosten. Genetisch wird diese Niederung von ihm als „mäandrierend breites Gletscherzungenbecken“ beschrieben. Zu abweichenden Schlussfolgerungen für die Elbe kommt Caspers (2000) durch Untersuchungen in der Wische westlich von Havelberg. Er betont die weitgehende Abwesenheit von Elbmäandern im Gebiet. Die Elbe war dort fast während des gesamten Holozän ein anastomosierender Fluss. Der heutige, in einem einzelnen Gerinne ablaufende Fluss ist nach Meinung von Caspers (2000) nicht vor dem Mittelalter entstanden. Wiegank (2009a) geht in seiner Veröffentlichung vor allem auf die Pritzerber Laake ein, die er ebenfalls als „Durchbruch“ von Elbewässern deutet. Die fluviatile Genese der Niederung ist seiner Meinung nach wegen der gut erhaltenen Mäander gesichert. Er stellt die Entstehung der Pritzerber Laake indirekt in den Ausklang des Atlantikum und den Beginn des Subboreal.

Dieser Artikel beschäftigt sich vor allem mit der weichselspätglazialen und früh- bis mittelholozänen Entwicklung der Havel und den daraus abzuleitenden Schlussfolgerungen auf die Entwicklung der benachbarten Elbe. Für den Artikel wurden an drei ausgewählten Stellen Bohrungen für eine relative Altersbestimmung mittels Pollenanalyse niedergebracht (Kb SöNe 1/2024, Kb Fas 2/2024 und Kb Bam 2/2024) sowie mehrere ältere, bereits vorhandene Bohrungen ausgewertet.

Zur Klärung der geomorphologischen Verhältnisse wurde auf das Digitale Geländemodell mit einem Meter Maschenweite (DGM1) zurückgegriffen. Die in diesem Beitrag vorgestellten Verläufe der Paläoflüsse heben sich jeweils nur um sehr wenige Höhenmeter von ihrer heutigen Umgebung ab, zum Teil auch um weniger als einen Höhenmeter. Da sie im weiträumigen Betrachtungsgebiet aber in sehr verschiedenen Höhenlagen auftreten, böte eine einheitliche Höhen-Farbzuweisung lokal wenig Differenzierung und auch eine schlechte Vergleichbarkeit der jeweiligen Oberflächenformen. Zur besseren Anschaulichkeit wurde hier ein stets gleicher, aber lokal in der Höhenlage individuell verschobener Farbverlauf über die Spanne von drei Höhenmetern gewählt (siehe Farbbalken). Dieser Farbverlauf geht von der lokal jeweils geringsten Meereshöhe in dunkelblau aus und differenziert die nächsthöheren vier Meter. Alle Höhen darüber erscheinen dann undifferenziert in einheitlichem Braun. In den jeweiligen Abbildungslegenden wird zur Höheneinordnung lediglich die Meereshöhe des unteren Startwertes mit Farbe Blau (zuallermeist identisch mit dem heutigen Boden des Paläogerinnes) genannt. Einzige Ausnahme bildet die Abbildung 7 des Elbe-Abschnittes, wo in gleichartiger Farbgebung eine andere Höhenskala gewählt wurde.

Geologisch-geomorphologischer Rahmen

Die glaziale Entwicklung des Gebietes wurde wiederholt von Weisse (zuletzt 2003) beschrieben, so dass hier für ausführlichere Darstellungen auf seine Veröffentlichungen verwiesen wird.

Während nach Weisse (2003) noch der gesamte Westen Brandenburgs zum Jungmoränenland des norddeutschen Tieflands gehört, liegen das heutige Elbtal und die westlich anschließende Altmark bereits außerhalb der jüngsten Vergletscherung. Der ehemalige Eisrand ist dabei nur noch sehr undeutlich im Gelände nachvollziehbar. Er lag während des Maximalvorstoßes der Weichselvereisung etwa bei Klietz, am Westrand des Landes Schollene, und an der Hochflächeninsel des Wiechenberges südwestlich von Genthin (Abb. 1). Hier bestehen Ähnlichkeiten zum Maximalvorstoß entlang des Baruther Urstromtales (Juschus 2010). Aber auch die jüngere Brandenburger Eisrandlage kann nur auf dem Land Schollene nahezu lückenlos verfolgt werden. In den Gebieten nördlich und vor allem südlich ist sie nur punktuell nachweisbar. Der Grund liegt hier in der großflächigen Umgestaltung des einstigen Glazialreliefs durch

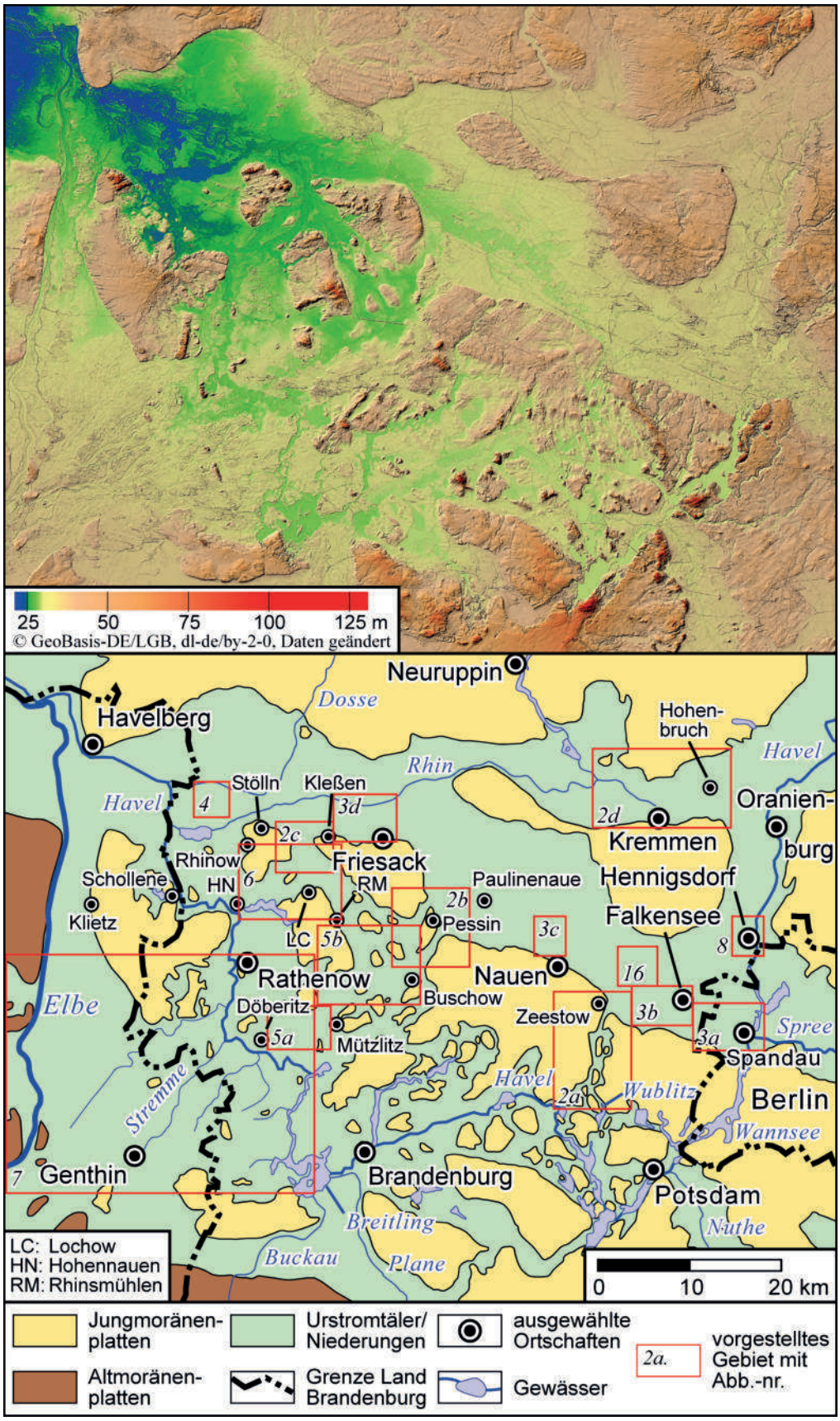


Abb. 1: Morphologischer Überblick über das Havelland. Die in den nachfolgenden Abbildungen gezeigten Ausschnitte sind mit roten Rechtecken sowie der Abbildungsnummer markiert.

Fig. 1: Morphological scetch of Havelland region. The sections shown in the following figures are marked with red squares and figure number.

die Schmelzwässer der weichselzeitlichen Urstromtäler. So ist von Ost nach West eine zunehmende Auflösung der zusammenhängenden Platten zu beobachten (Abb. 1). Weisse (2003) führt das vor allem auf großflächige Überschüttung durch die Schmelzwässer und nur begrenzt auf Erosion an den Plattenrändern zurück. Die Verschüttung führte auch dazu, dass innerhalb der Urstromtalungen nur kleinräumig höhere – und damit ältere – Terrassen nachweisbar sind. Die Abflussgeschichte der ineinander verzahnten Abflusswege lässt sich so kaum noch rekonstruieren; Weisse (2003) nimmt ein stark verzweigtes Urstromsystem, zum Teil mit Bifurkationen, an.

In der Region laufen die drei großen weichselzeitlichen Urstromtäler des südbaltischen Vereisungsgebietes zusammen. Dies führt dazu, dass die Grenzen zwischen den Tälern in Richtung Westen zunehmend verschwinden. So werden westlich der Hochflächeninsel des Glien-Bellin das zusammenlaufende Berliner und Eberswalder Urstromtal als Vereinigtes Urstromtal bezeichnet. Zwischen dem Vereinigten Urstromtal im Norden und dem eigentlichen Baruther Urstromtal im Süden gibt es ein Geflecht zahlreicher weiterer Talungen mit zum Teil verwirrend uneinheitlicher Gefälleausprägung. Letztendlich führte entlang der heutigen Elbe ab Genthin das Elbe-Urstromtal die Schmelzwässer aller großen Talungen in Richtung Nordseebecken ab.

Die etwas ältere glaziale Entwicklung lässt sich damit praktisch nur auf den inselartigen Hochflächen rekonstruieren. Weisse (2003) unterscheidet hier zahlreiche Bautypen der Hochflächen, mit unterschiedlicher Mächtigkeit der weichselzeitlichen Sedimente und unterschiedlichen glazigenen Lagerungsstörungen. Wiederholt tritt auch älteres, saalekaltzeitliches Material zutage. In der Nähe der Eisrandlagen finden sich mehrfach glazifluviatile bis glazilimnische Oser und Kames (Weisse 2003).

Der sich südlich anschließende Fläming und die westlich gelegene Altmark gehören bereits zum Altmoränenland. Hier stehen oberflächlich meist warthezeitliche Ablagerungen mit intensiver periglazialer Beeinflussung an. Hauptunterschied zwischen den beiden Landschaftsräumen ist ihre Höhenlage, so dass es in der tief gelegenen Altmark auch ausgedehnte, urstromtalartige Niederungen gibt (vgl. Keilhack 1887).

Pforten und Engstellen der Urstromtalungen im Havelland

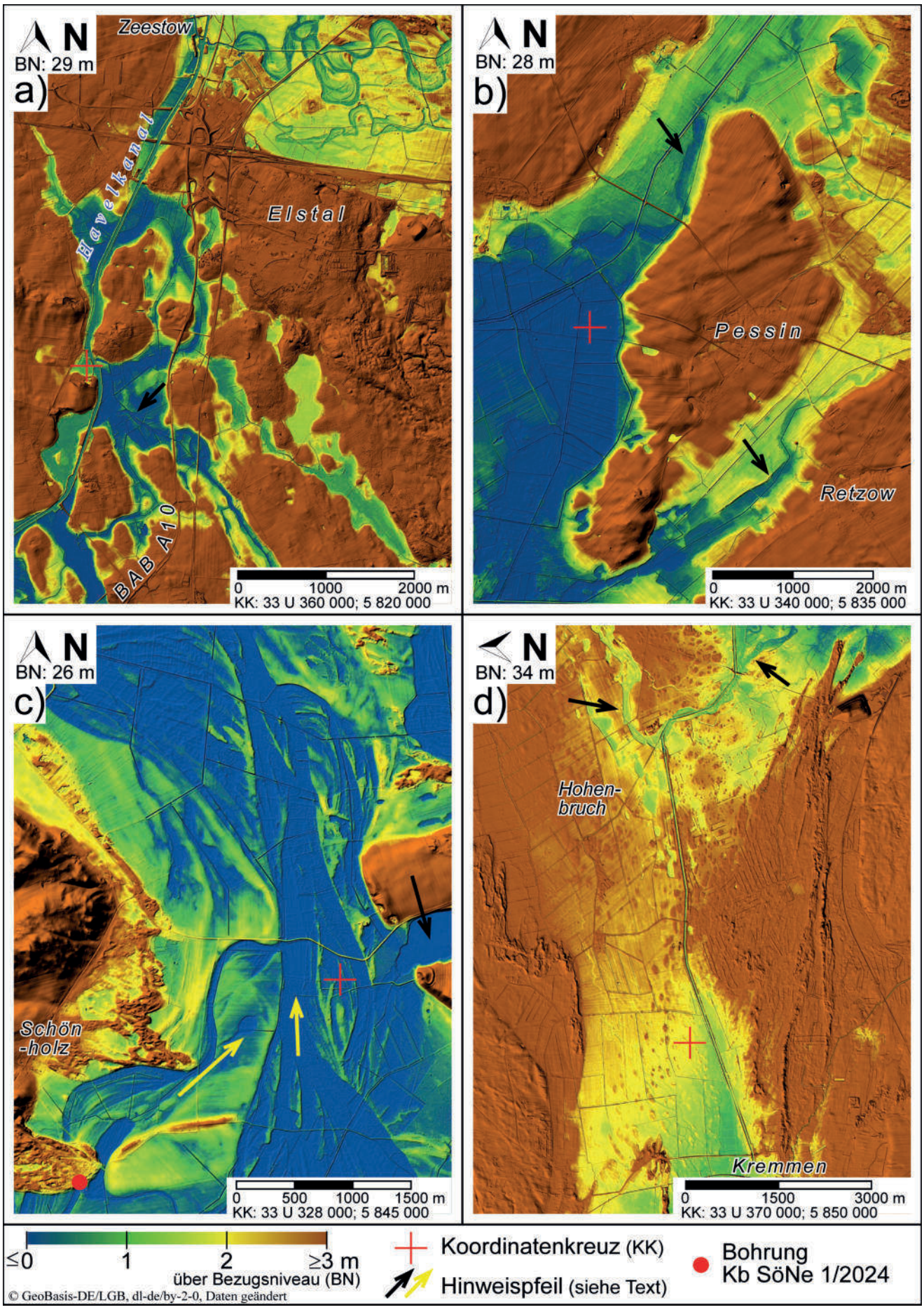
Die inselartige Auflösung der einst geschlossenen glazialen Hochflächen in kleine und kleinste Ländchen geht einher mit ebenfalls vergleichsweise engen Pforten zwischen benachbarten Hochflächeninseln. Als Beispiel lassen sich am Südrand des Berliner und des Vereinigten Urstromtals im Untersuchungsraum vier Pforten bzw. Engstellen nachweisen, die das Berliner Tal mit den weiter südlich gelegenen Urstromtalungen verbinden (Abb. 2a–c). Von Ost nach West sind das die Wannseepforte, die Zeestower Pforte, die Doppelpforte von Pessin und die Kleßener Pforte. Jede dieser vier Engstellen besitzt ihre eigenen Charakteristika.

So zeichnet sich die Wannseepforte durch den bis in die Gegenwart existierenden Havelsee aus, der den namensgebenden Wannsee als südliche Bucht enthält. Diese Pforte wird aktuell von der Havel benutzt. Die Havel ist hier eingebettet in das große glaziale Rinnensystem, das von Oranienburg im Norden bis zum Schwielowsee im Süden reicht. Als durchflossener See füllt sie die Engstelle vollständig aus. Eine Urstromtalung, die terrassenartig den See begleitet, ist nicht vorhanden.

Die weiter westlich gelegene Zeestower Pforte (Abb. 2a) wird heute durch den Havelkanal markiert. Der Kanal wurde in einer von Nord nach Süd verlaufenden Niederung angelegt. Sie lässt sich zwanglos als eine weitere glaziale Rinne interpretieren, die die Nauener Platte vollständig durchschneidet. Die nördliche Einmündung der Rinne in das Berliner Urstromtal liegt am Dorf Zeestow. Im Süden, in Richtung Potsdam, bildet der Rinnensee der Wublitz bei Paaren-Marquart die südliche Fortsetzung der Rinne, die dort Anschluss an die Potsdamer Havelgewässer hat. Es sei angemerkt, dass der aktuelle Boden der Rinne keinesfalls höher liegt als die Niederungsgebiete nördlich und südlich davon. Von der Rinne zweigen in Richtung Südsüdost weitere, ähnlich tief gelegene Niederungsgebiete ab, die als Senken zwischen Megawällen im Sinne von Haardt et al. (2015) gedeutet werden. Nach der Bohrpunktkarte Brandenburg finden sich entlang der Rinne und der anderen Senken regelmäßig limnische und telmatische Ablagerungen (u. a. Bohrungen Hy Hvk 11/1994, Hy Hvk 16/1994 und Hy Hvk 29/1994; LBGR 2025), so dass die Niederungen im Holozän ebenfalls Seenketten beherbergten, die Flussläufe problemlos hätten aufnehmen können. Es ist aber lediglich ein kleiner Abschnitt eines möglichen Altarmes morphologisch im DGM1 erkennbar (Abb. 2a, Pfeil). Eine Prüfung im Gelände ist bisher nicht erfolgt.

Abb. 2:
Ausgewählte Pforten und Engstellen der Urstromtalungen im Havelland (a – Zeestower Pforte; b – Pessiner Doppelpforte; c – Kleßener Pforte; d – Kremmener Engstelle im Eberswalder Urstromtal)

Fig. 2:
Selected gaps and narrows of the ice marginal valleys in Havelland region (a – Zeestow Gap; b – Pessin Gap; c – Kleßen Gap; d – Kremmen Narrow within Torun-Eberswalde Ice marginal valley)


N
BN: 29 m
a)
Zeestow
Havelkanal
Elstal
BAB A10
0 1000 2000 m
KK: 33 U 360 000; 5 820 000
N
BN: 28 m
b)
Pessin
Retzow
0 1000 2000 m
KK: 33 U 340 000; 5 835 000
N
BN: 26 m
c)
Schön
-holz
0 500 1000 1500 m
KK: 33 U 328 000; 5 845 000
N
BN: 34 m
d)
Hohen-
bruch
Kremmen
0 1500 3000 m
KK: 33 U 370 000; 5 850 000
≤0 1 2 ≥3 m
über Bezugsniveau (BN)
© GeoBasis-DE/LGB, dl-de/by-2-0, Daten geändert
Koordinatenkreuz (KK)
Hinweispfeil (siehe Text)
Bohrung
Kb SöNe 1/2024

Die Pessiner Pforte trennt die östlich gelegene Nauener Platte von dem westlich sich anschließenden Friesacker Ländchen (Abb. 2b). Bei dieser Pforte handelt es sich eigentlich um zwei eng benachbarte Durchlässe; der namensgebende Ort Pessin liegt genau auf einer sehr kleinen Hochflächeninsel innerhalb der Pforte, wobei der Hauptdurchlass der nordwestliche ist. Umgeben wird die Pessiner Hochflächeninsel von nahezu gleichhohen Urstromtalböden. Die Talsande liegen meist an der Oberfläche; nur teilweise sind sie von wenige Dezimeter mächtigen Moorbildungen überdeckt. Mäanderartige Strukturen in beiden Engstellen gehören hier zu kleinen glazialen Rinnen mit lokal mächtigerer Moorfüllung (Abb. 2b, Pfeile). Sie erstrecken sich sowohl in Richtung Nordost als auch Südwest nur wenige Kilometer. Trotz meist fehlender Moordecke lassen sich keine fluviatilen Strukturen innerhalb der Pforte nachweisen! Sie scheint nach dem Ende der glazifluviatilen Aktivität nicht mehr durchflossen worden zu sein.

Im Osten des Untersuchungsraumes befindet sich die Kleßener Pforte zwischen dem Friesacker und dem Rhinower Ländchen (Abb. 2c). Der Nordwesten des Friesacker Ländchens beherbergt in einer kleinen, etwa von Ost nach West verlaufenden glazialen Rinne den Kleßener See (schwarzer Pfeil). Eine Fortsetzung der Rinne auf dem Rhinower Ländchen lässt sich allerdings nicht ausmachen. Eventuell bildet der Witzker See im Süden die Fortsetzung dieser Rinne. Die eigentliche Pforte wird jedoch von der Rinne nicht berührt, so dass dort Urstromtalsande mit weitgehend ebener Oberfläche zu finden sind. In die Oberfläche der Sandschüttungen haben sich mehrere fluviatile Strukturen eingetieft, die rezent vermoort sind. Den Höhenverhältnissen zufolge wurde der Durchbruch von Süd nach Nord durchflossen. Knapp südlich der Pforte vereinigen sich zwei Gerinnesysteme (Abb. 2c, gelbe Pfeile), die sich vereint durch die Pforte „hindurchzwängen".

Als Zwischenfazit zu den Pforten kann festgestellt werden, dass die Wannseepforte und die Kleßener Pforte von Flüssen benutzt werden bzw. wurden. Für die Pessiner Pforte wird das ausgeschlossen. Die Zeestower Pforte bleibt dahingehend unentschieden – möglich, aber nicht sicher belegt.

Paläoflussläufe von Havel und Elbe – abgeleitet aus dem DGM1

Die Beschreibung der nachfolgend erläuterten ehemaligen Havelläufe folgt in Gefällerichtung der Reihenfolge, mit der die Paläoflussläufe vom modernen Havellauf abzweigen. Zunächst aber zur heutigen Havel: Als Obere Havel wird hier der Havellauf von seiner Quelle bis zur Einmündung der Spree bei Spandau bezeichnet. Die Mittlere Havel zieht sich von Spandau bis zum Breitlingsee/Plauer See (Abb. 1) westlich von Brandenburg an der Havel. Der seenartige Unterabschnitt südlich von Spandau bis Potsdam wird als Wannsee-Havel bezeichnet. Die Untere Havel umfasst dann den weiteren, ab dem Breitling überwiegend nach Norden gerichteten Verlauf bis zur Mündung in die Elbe. Als Urhavel werden im Folgenden alle prähistorischen Altläufe der Havel bezeichnet, die vom heutigen Flusslauf deutlich – das heißt mehrere Kilometer – abweichen. Besitzen die fluviatilen Strukturen hingegen ein mögliches historisches Alter oder kann es sich um andere Flüsse als die Havel handeln, die die Altläufe angelegt haben, so wird auf die neutralere Bezeichnung Paläofluss zurückgegriffen. Der Begriff „Urelbe" wird hingegen auf alle mutmaßlichen Altläufe der Elbe angewandt, die das Land Schollene östlich umflossen haben.

Alte Havelläufe entlang der Oberen Havel

Entlang der heutigen Oberen Havel, noch nördlich des Eberswalder Tales, zweigt etwa auf halbem Wege zwischen Zehdenick und Liebenwalde ein Paläoflusslauf ab. Auf dem Schmettauschen Kartenwerk wird der erkennbare Flusslauf streckenweise als „Doofe-Fluss" bezeichnet. Das Attribut „doof" steht hier für „taub, nicht mehr in Funktion"; es sei auf die „Dove Elbe" bei Hamburg verwiesen. Der Altlauf verläuft mehr oder minder parallel zur heutigen Havel nach Süden und bildet streckenweise sehr gut entwickelte Mäander mit zahlreichen *Point-bars* an den Gleitstellen aus. Die Mäanderradien betragen ca. 150 bis 180 m. Die Mäander der modernen Havel haben etwas östlich Radien um 30 bis 40 m. Der Altlauf folgt zunächst dem Teschendorfer Graben. Zwischen Germendorf und Oranienburg verlässt er das Eberswalder Urstromtal nach Süden. Zwischen Nassenheide und Germendorf existiert ein zusätzlicher Abzweig dieses Altlaufs, der sich an der Schleuse Hohenbruch des Ruppiner Kanals bis zu 10 km Luftlinie vom aktuellen Havellauf entfernt, aber bei Germendorf wieder den vorgenannten Altlauf erreicht (Abb. 2d, Pfeile). Dieser Altlauf wird in den Kartenwerken nicht weiter erwähnt. Laut GK25 ist er mit Torf verfüllt. Von Hohenbruch in Richtung Westen bis nach Kremmen lassen sich keine weiteren Altläufe eines Flusses im DGM1 nachweisen (Abb. 2d). Zwischen Oranienburg und Birkenwerder mündet dieses Flusssystem wieder in den heutigen Havellauf. Dieser Altlauf der Havel überwindet einen Höhenunterschied von ziemlich genau 10 m (42,0 m NHN im Norden, 32,0 m NHN im Süden). Bei den Höhenangaben, auch bei den folgenden, ist zu berücksichtigen, dass die weichselspätglazial-holozäne Füllung der Paläoflüsse nicht herausgerechnet wurde und Torfbildungen in ihrer aktuellen Höhenlage erfasst sind.

Südlich des stark überbauten Abschnitts vom Autobahnkreuz Oranienburg und der Stadt Velten findet sich ebenfalls ein Altlauf westlich der heutigen Havel. Hier zeigen sich aber signifikante morphologische Unterschiede zu den Altläufen weiter nördlich: Die Mäander sind deutlich schwächer entwickelt. Gut entwickelte Mäander mit *Point-bars* fehlen komplett. Sein eher sanft schlängelnder Verlauf wird westlich von Hennigsdorf durch den Muhrgraben nachgezeichnet, quert den Havelkanal nach Süden und erreicht an der Berliner Stadtgrenze die Kuhlake (siehe auch

nachfolgendes Unterkapitel). Der weitere Verlauf folgt der Kuhlake/dem Niederneuendorfer Kanal nach Westen bis zum Havelkanal. Erst dort setzt intensiveres Mäandrieren ein (vgl. auch Abb. 16). Noch weiter westlich vereinigt sich dieses System mit den nachfolgend beschriebenen Altläufen der Urhavel. Dieser Altlauf ist auf dem Schmettauschen Kartenwerk ebenfalls nicht als solcher verzeichnet.

Im südlich sich anschließenden Stadtgebiet von Berlin besitzt die aktuelle Havel einen nahezu von Nordnordost nach Südsüdwest gerichteten Verlauf. Sie folgt dabei von Hennigsdorf bis zum Schwielowsee südlich von Potsdam einer glazialen Rinne, die bei Spandau die Spree als wichtigsten Nebenfluss aufnimmt. Der seenartige Charakter der Havel zeigt sich auch in ihrem Gefälle, welches von Hennigsdorf (31,5 m NHN) bis Potsdam (29,5 m NHN) lediglich 2 m beträgt, wobei der Höhenunterschied heute fast vollständig an der Schleuse Spandau abgebaut wird (Kaiser et al. 2018).

Mittlere Havel – Die Nauen-Friesacker Urhavel

Im Stadtgebiet von Spandau zweigen nahezu im rechten Winkel von der heutigen Havel mehrere langgestreckte Niederungsgebiete nach Westen ab, die nach morphologischem Befund entschieden fluviatiler Anlage sind. Sie lassen sich innerhalb des Berliner und des Vereinigten Urstromtals lückenlos bis in das Elbe-Havelmündungsgebiet bei Havelberg verfolgen. Die z. T. mehrere Meter mächtige Füllung mit Torf und Mudde (Mundel, Trettin & Hiller 1983) belegt ein prähistorisches Alter dieser Altläufe. Ebenso existieren keine historischen Aufzeichnungen über einen Flusslauf entlang dieser Strecke. Dieser Flusslauf – offensichtlich ein ehemaliger Havellauf – wird von den Autoren als Nauen-Friesacker Urhavel bezeichnet. Die Urhavel wechselt entlang ihres Verlaufs mehrfach ihre morphologische Erscheinung. Daher wird sie in die nachfolgend vorgestellten fünf Abschnitte unterteilt.

Abschnitt 1 – Berlin-Spandau bis Seegefeld

Der erste, östlichste Abschnitt beginnt mit den bereits erwähnten langgestreckten Niederungsgebieten in Spandau westlich der heutigen Havel. Sie tragen althergebrachte Flurbezeichnungen; von Nord nach Süd sind dies die Kuhlake, die Spektelake und der Bullengraben (Abb. 3a, Pfeile). In Richtung Westen ändern sich die Flurnamen; so geht zum Beispiel die Spandauer Spektelake in den Falkenseer Schlaggraben über. Zudem gibt es zwischen diesen Niederungen mehrere Verzweigungen mit eigenen Flurnamen. Das nur sanfte „Schlängeln“ der Niederungen legt zwar eine fluviatile Genese derselben nahe, ohne dass allerdings auf Berliner Stadtgebiet Mäander ausgebildet worden sind. Insgesamt sind alle Niederungen stark anthropogen verändert worden, auch wenn sie als Tiefenlinien weiterhin erkennbar sind. Auf den Preußischen Messtischblättern wird ihre Oberfläche mit minimal 31,8 m NN angegeben.

Abschnitt 2 – Seegefeld bis Zeestower Pforte

Etwas westlich der Berliner Stadtgrenze setzt ab dem Falkenseer Ortsteil Seegefeld in Richtung Westen der zweite Abschnitt der Nauen-Friesacker Urhavel ein, der sich durch das Vorhandensein von Mäandern auszeichnet. Es finden sich in Fließrichtung zunehmend deutlicher entwickelte Mäander (Abb. 3b). Dies betrifft nur die beiden südlichen Niederungen des (Spektelake-)Schlaggrabens und des Bullengrabens. Bei der nördlichen Kuhlake bleibt die Sinuosität zunächst nur gering. Dort finden sich Mäander erst nördlich von Brieselang in Richtung Westen, wobei dort die Strukturen stark durch den Bau des Havelkanals verändert und zum Teil zerstört wurden (vgl. Abb. 16). Vergleicht man die beiden südlichen mäandrierenden Niederungen, so fällt auf, dass die Mäander in der Niederung des Schlaggrabens deutlich größer und differenzierter ausgebildet sind als diejenigen am Bullengraben (Abb. 3b). Während die Mäandergrößen entlang des Bullengrabens zwischen 60 und 200 m Radius schwanken, besitzen diejenigen am Schlaggraben Radien von 250 bis 400 m. Auch das erkennbare Gerinnebett ist mit 70 bis 130 m am Schlaggraben deutlich breiter als das um den Bullengraben, welches zwischen 50 und 80 m misst. Zusätzlich besitzen die Mäander entlang des Schlaggrabens sehr gut entwickelte Systeme von *Point-bars* und verlandeten Altwässern, die am Bullengraben nur in Ansätzen erhalten sind. Die Mäander entlang der Kuhlake sind mit Radien von ca. 50 bis 70 m nochmals kleiner. Der Grad der anthropogenen Überformung der Altläufe geht am Schlaggraben und am Bullengraben in diesem zweiten Abschnitt von Ost nach West deutlich zurück; jedoch zeigt sich genau die Grenze zum westlich anschließenden dritten Abschnitt bei Zeestow durch den Havelkanal, den Berliner Autobahnring und dort befindliche Gewerbegebiete sehr stark überbaut. Erreichen die ersten Mäander bei Seegefeld noch 30,5 m NHN, so liegt die Oberfläche der Altläufe ganz im Westen des Abschnittes bei 29,3 m NHN.

Abschnitt 3 – Zeestower Pforte bis Friesack

Mit der Querung der Zeestower Pforte ändert sich die morphologische Ausbildung der Nauen-Friesacker Urhavel in Richtung Westen signifikant, so dass nunmehr der dritte Abschnitt einsetzt. Die Mäander der Urhavel werden einerseits deutlich größer, andererseits lässt sich erstmals mindestens eine jüngere Mäandergeneration mit deutlich kleineren Mäandern nachweisen, die die älteren Großmäander überformt hat. Dennoch wird aber das morphologische Erscheinungsbild dieses Abschnitts von den Großmäandern geprägt (Abb. 3c). Sie erreichen hier Radien bis zu 600 m, sind also nochmals größer als diejenigen bei Falkensee. Die jüngere Generation hingegen besitzt Radien von 150 bis 300 m, ist aber bezüglich der Größe recht variabel. In diesem Abschnitt fällt die Höhe der Altmäander von 29,3 auf 27,4 m NHN ab.

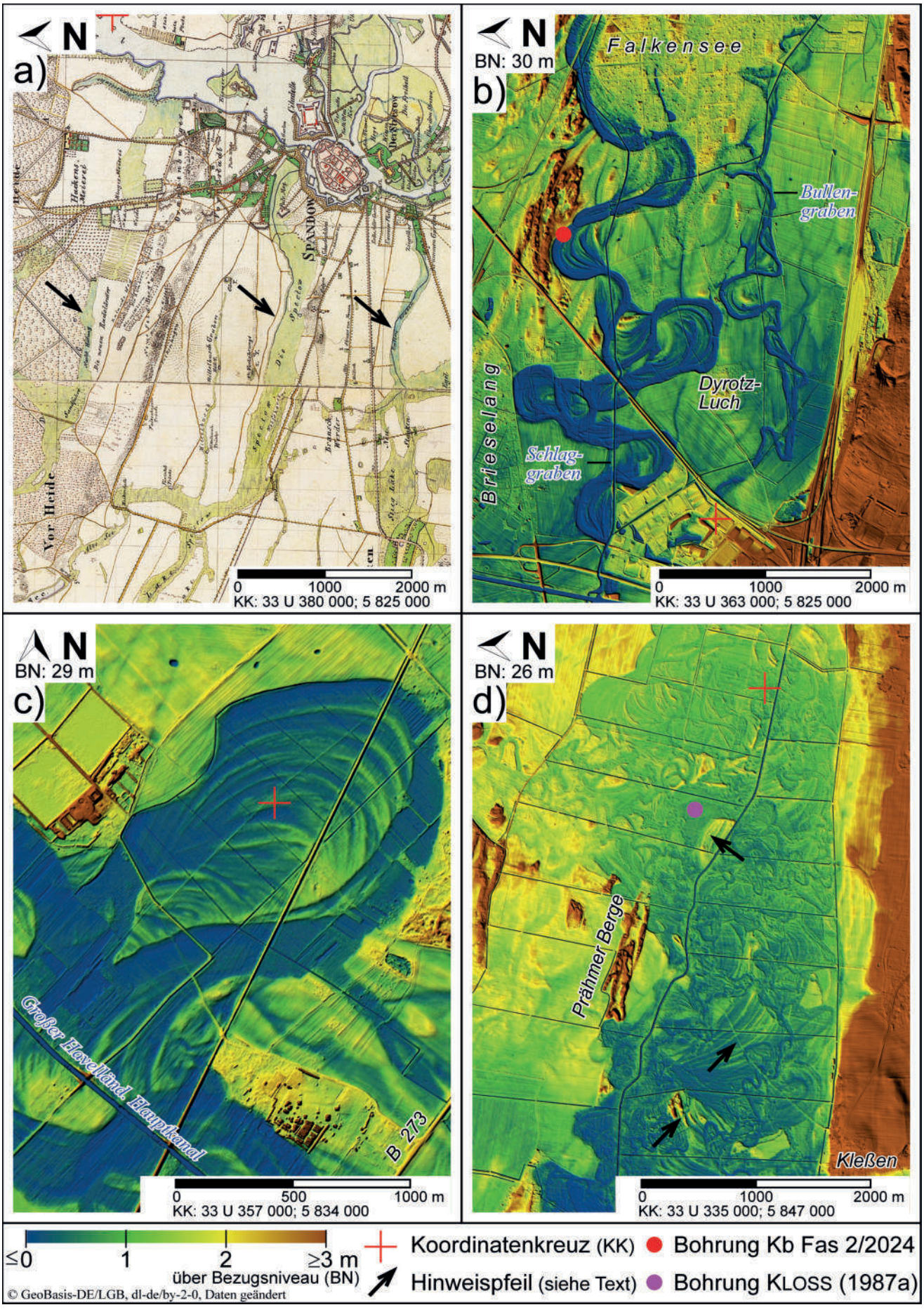

a)
N
Spandow
Vor Heide
0 1000 2000 m
KK: 33 U 380 000; 5 825 000
b)
N
BN: 30 m
Falkensee
Bullen-graben
Dyrotz-Luch
Schlag-graben
Brieselang
0 1000 2000 m
KK: 33 U 363 000; 5 825 000
c)
N
BN: 29 m
Großer Havelländ. Hauptkanal
B 273
0 500 1000 m
KK: 33 U 357 000; 5 834 000
d)
N
BN: 26 m
Prähmer Berge
Kleßen
0 1000 2000 m
KK: 33 U 335 000; 5 847 000
≤0 1 2 ≥3 m
über Bezugsniveau (BN)
© GeoBasis-DE/LGB, dl-de/by-2-0, Daten geändert
Koordinatenkreuz (KK)
Hinweispfeil (siehe Text)
Bohrung Kb Fas 2/2024
Bohrung KLOSS (1987a)

Abb. 3:
Die Nauen-Friesacker Urhavel in vier ausgewählten Abschnitten (a – Ausschnitt aus UMTB Blatt 3445 Spandau 1836; b – Altläufe bei Falkensee-Brieselang; c – Mäander nördlich von Nauen; d – durch den Rhin stark veränderte Großmäander nordwestlich von Friesack)

Fig. 3:
The Nauen-Friesack-Paleohavel in four selected sections (a – section Spandau from Prussian topographic map 1 : 25 000 from 1836; b – paleo-riverbeds near Falkensee-Brieselang; c – paleomeander north of Nauen; d – large paleomeanders north-west of Friesack heavily modified by the younger Rhin river)

Abschnitt 4 – Friesack bis Rhinow

Eine noch stärkere Überprägung der Großmäander lässt sich westlich von Friesack im vierten Abschnitt beobachten. Hier tritt von Norden der Rhin in das nun Vereinigte Urstromtal ein. So ist es nicht verwunderlich, dass die Überprägung der älteren Großmäander durch die jüngeren Altläufe des Rhins hier nochmals intensiver ausfällt als im dritten Abschnitt weiter östlich. Ungestörte Großmäander sind hier nicht mehr vorhanden (Abb. 3d). Einzelstrukturen der alten Mäander, vor allem *Point-bars* und verlandete Altwasser sind aber abschnittsweise noch erhalten (Abb. 3d, Pfeile). Besonders augenfällig wird dies im Bereich des mesolithischen Fundkomplexes Friesack 4 (vgl. Zwenger 2023). Einer der Siedlungsplätze befindet sich genau auf dem *Point-bar* eines Großmäanders. Auch das unmittelbar östlich sich anschließende verlandete Altwasser scheint nach den Befunden von Kloss (1987b) nur gering fluviatil beeinflusst zu sein. Nördlich und südlich des Fundkomplexes hingegen ist ein Gewirr kleinerer Mäander des Rhins zu erkennen. Die Strukturen der Großmäander sind dort fast völlig verwischt.

Weiter in Richtung Westen lassen sich diese stark überprägten Großmäander bis nördlich von Stölln nachweisen. Dort münden zusätzlich die Altläufe der Pritzerber Laake (siehe nachfolgendes Unterkapitel) von Süden ein. Allerdings ändert dies an der morphologischen Ausbildung praktisch nichts, da auch diese Altläufe von den jüngeren des Rhins stark verändert worden sind. Die Aue des Rhins liegt nördlich von Rhinow um 25,0 m NHN.

Abschnitt 5 – Rhinow bis Havelberg

Erst nördlich von Rhinow wechselt das Erscheinungsbild, und es beginnt der fünfte und westlichste Abschnitt der Nauen-Friesacker Urhavel. Der Rhin verlässt hier natürlicherweise den Flusslauf der Nauen-Friesacker Urhavel nach Südwesten, um in den Gülper See abzuschwenken (Abb. 1). Unmittelbar westlich des Sees mündet der Rhin dann in die heutige Havel. Die Großmäander ziehen sich hingegen nördlich von Rhinow weiter nach Westen und sind nun wieder erstaunlich gut und nahezu ungestört erhalten (Abb. 4). Dies kann auch damit begründet werden, dass die Altläufe von Dosse und Jäglitz etwas weiter nördlich zu finden sind. Mit 600 bis 750 m Radius erreichen die Großmäander der Nauen-Friesacker Urhavel hier ihre maximalen Werte. Mit der Einmündung in den aktuellen Havellauf bei Kuhlhausen endet auf einem Höhenniveau um 24,0 m NHN die Nauen-Friesacker Urhavel, wobei sich Großmäander auch noch bis Havelberg entlang des heutigen Havellaufs finden lassen.

Untere Havel – Der Paläofluss der Pritzerber Laake

Zwischen Spandau und Pritzerbe lassen sich keine Altläufe finden, die von der heutigen Havel wesentlich abweichen! Erst nördlich von Pritzerbe, bei Premnitz-Döberitz, zweigt in sehr spitzem Winkel in Richtung Nordost die langgestreckte Niederung der Pritzerber Laake von der Havel ab (Abb. 1 und 5). Diese offensichtlich fluviatil angelegte Niederung lässt sich in einem weiten, nach Westen offenen Bogen lückenlos für ca. 40 km bis zur Vereinigung mit der Nauen-Friesacker Urhavel nördlich von Stölln nachweisen. Bis zur Einmündung in die heutige Havel sind es sogar 55 km. Abgesehen von kleineren Abschnitten – ihr Einsetzen bei Premnitz sowie die Querung der Schnellfahrstrecke Berlin-Hannover – ist sie kaum überbaut. Auch hier gibt es keinen historischen Beleg für einen Flusslauf. Die zum Teil intensive Vertorfung der Niederungen kann ohne weitere Datierung als Indiz für ein prähistorisches Alter gewertet werden. Die namensgebende Pritzerber Laake nimmt nur den südwestlichen Teil des ehemaligen Flusslaufes ein, der in die Urstromtalungen eingetieft ist. Der langgestreckte Zentralteil hat eine verwirrende Vielzahl an lokalen Flurbezeichnungen und gehört zu den ausgedehnten Niederungen der Havelländischen Luche, aus denen kleine und kleinste Hochflächeninseln aufragen. Zwischen Buschow und Nennhausen wird die Schnellfahrstrecke Berlin-Hannover gequert. Weiter nördlich, ab der Niederung zwischen Kriele und Kotzen, folgt der Große Havelländische Hauptkanal weitgehend dem alten Flusslauf bis Lochow. Hier münden aus Richtung Südwest weitere Altläufe ein (siehe nachfolgendes Unterkapitel). Ab Lochow wenden sich die nachweisbaren Altläufe nach Norden, um durch die Kleßener Pforte zwischen Rhinower und Friesacker Ländchen das Vereinigte Urstromtal zu erreichen. Nördlich von Stölln erfolgt dann die Vereinigung mit den oben beschriebenen Altläufen der Nauen-Friesacker Urhavel. Entlang des Paläoflusses der Pritzerber Laake ändert sich ebenfalls die morphologische Ausbildung mehrmals, so dass der Verlauf in drei Abschnitte unterteilt wird.

Abschnitt 1 – Pritzerber Laake/Küchenlaake bis Mützlitz

Der erste, südwestliche Abschnitt umfasst die eigentliche Pritzerber Laake und die östlich sich anschließende Küchenlaake bis etwas östlich der Ortslage Mützlitz (Abb. 5a). Die Pritzerber Laake wurde wiederholt in der Literatur beschrieben (Weisse 2003; Wiegank 2009a; Wiegank 2009b). Wesentliches Merkmal dieses Abschnitts ist die vor-

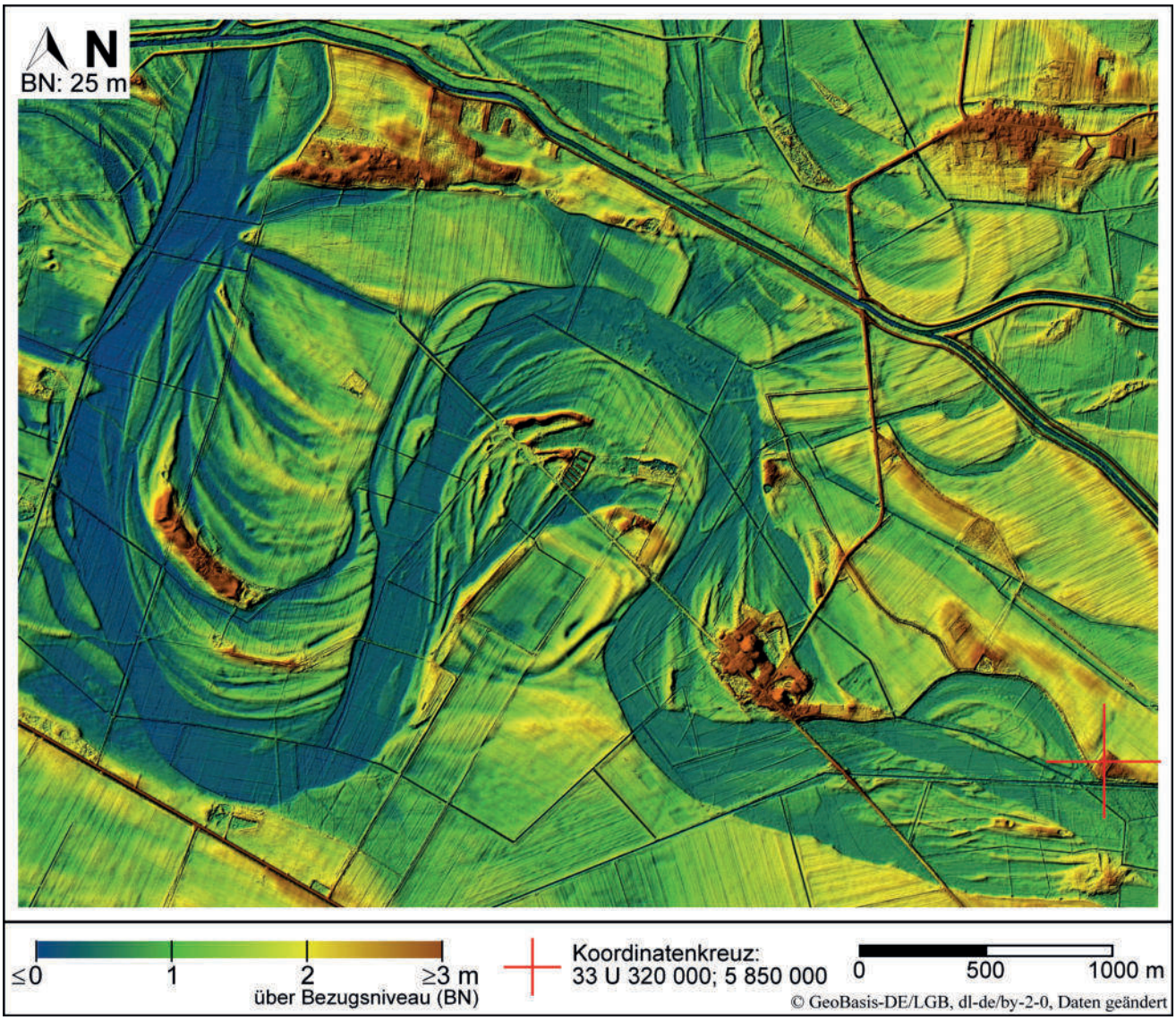
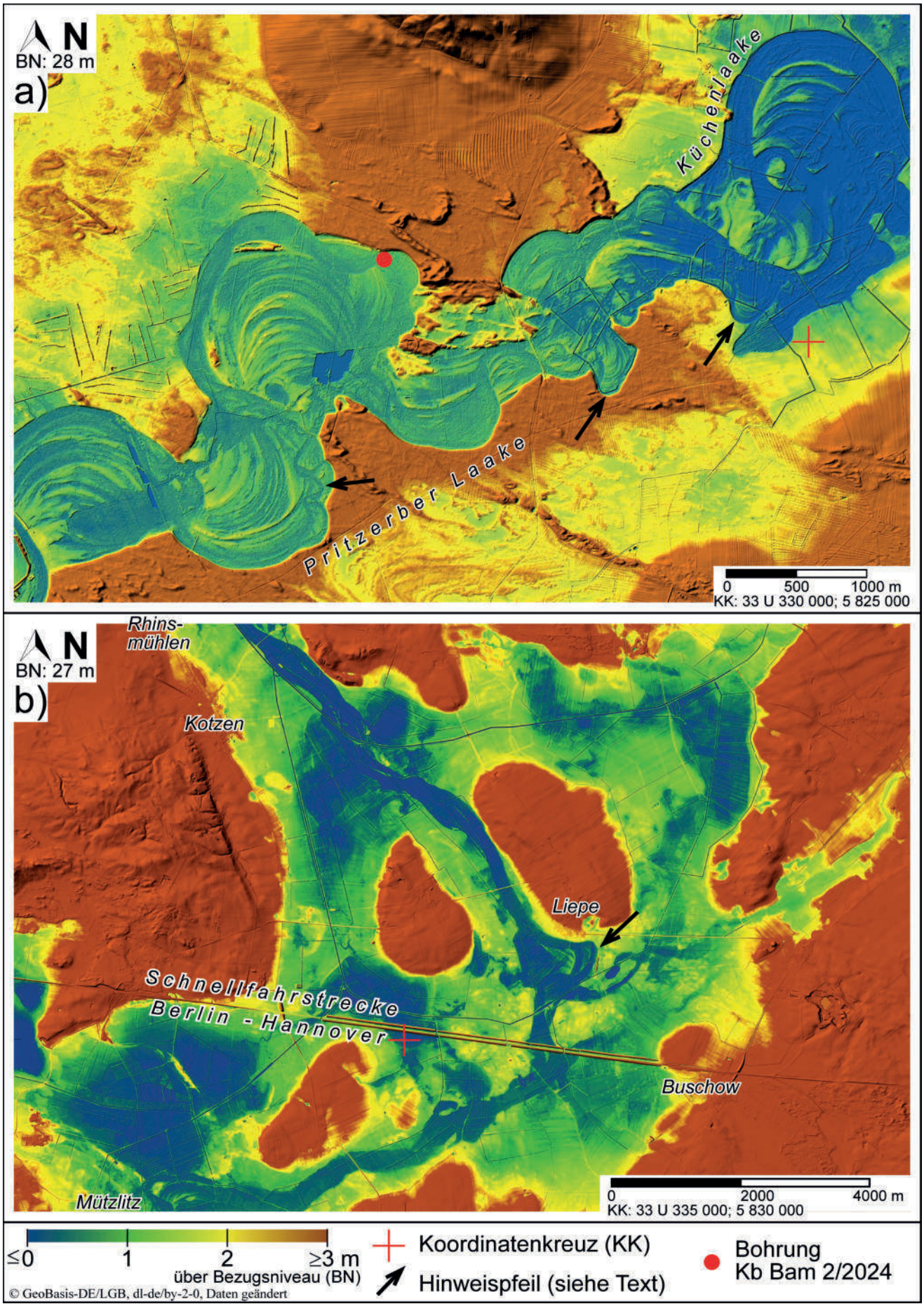


Abb. 4: Mäander der Nauen-Friesacker Urhavel bei Rhinow-Buchhorst
Fig. 4: Meanders of the Nauen-Friesack-Paleohavel near Rhinow-Buchhorst

zügliche Ausbildung von Mäandern (Abb. 5a). Sie erreichen Radien bis zu 700 m; meist sind auch die *Point-bar*-Systeme gut entwickelt. Es sei angemerkt, dass die Großmäander zum Teil von kleineren Mäandern überprägt worden sind (Abb. 5a, Pfeile). Dennoch dominieren die Großmäander das Erscheinungsbild der Niederung bis heute. In der Morphologie bestehen damit sehr große Übereinstimmungen zu den Großmäandern der Nauen-Friesacker Urhavel im dritten Abschnitt. Es ist bei Betrachtung der umgebenden Urstromtalniveaus auffällig, dass die Altläufe der Pritzerber Laake zum Teil in höhere Terrassenniveaus eingebettet sind, obwohl tiefere Terrassen teilweise angeschnitten worden sind. Insofern ist der von Weisse (2003) erwähnte Durchbruchscharakter durchaus gegeben. Vereinzelt wurden die Altläufe überdünt. Ist der westlichste Abschnitt mit Höhen um 28,6 m NHN noch nahezu gefällefrei, verringert sich das Höhenniveau in der östlichen Küchenlaake und den Mützlitzer Wiesen vergleichsweise schnell auf 27,2 m NHN.

Abb.5:
Der Paläofluss der Pritzerber Laake
(a – Paläomäander der Pritzerber Laake und Küchenlaake;
b – geradliniger Altlauf von Mützlitz über Liepe bis Rhinsmühlen)

Fig. 5:
The palaeoriver of Pritzerber Laake
(a – palaeo-meanders of the mires Pritzerber Laake and Küchenlaake;
b – straight paleochannels from Mützlitz via Liepe to Rhinsmühlen)


N
BN: 28 m
a)
Küchenlaake
Pritzerber Laake
0 500 1000 m
KK: 33 U 330 000; 5 825 000
N
BN: 27 m
b)
Rhins-
mühlen
Kotzen
Liepe
Schnellfahrstrecke
Berlin - Hannover
Buschow
Mützlitz
0 2000 4000 m
KK: 33 U 335 000; 5 830 000
≤0 1 2 ≥3 m
über Bezugsniveau (BN)
© GeoBasis-DE/LGB, dl-de/by-2-0, Daten geändert
Koordinatenkreuz (KK)
Hinweispfeil (siehe Text)
Bohrung
Kb Bam 2/2024

Abschnitt 2 – Mützlitz bis Rhinsmühlen

Nordöstlich von Mützlitz lassen sich die fluviatilen Strukturen als Tiefenzone im DGM1 zwar weiter gut nachverfolgen, die Mäander setzen jedoch abrupt aus. Der Paläofluss hat in seinem zweiten Abschnitt bis nach Rhinsmühlen einen geraden bis sanft schwingenden Verlauf (Abb. 5b). Lediglich westlich von Buschow, knapp südlich der Ortslage Liepe, findet sich ein einzelner Mäander mit einem Radius von ca. 300 m (Abb. 5b, Pfeil). Hier wendet sich der Altlauf für knapp 10 km Fließstrecke recht geradlinig nach Nordwesten, obwohl sich Urstromtalungen sowohl nach Nordost als auch nach Nordwest fortsetzen. In Richtung Nordost befindet sich die Pessiner Doppelpforte, in der sich aber keine fluviatilen Strukturen nachweisen lassen. Mit einer Verringerung des Höhenniveaus von 27,2 auf 26,9 m NHN bei Rhinsmühlen ist der geradlinige Abschnitt für seine Länge ausgesprochen gefällearm, teilweise auch gefällefrei!

Abschnitt 3 – Rhinsmühlen bis Stölln/Havelberg

Ab der Ortslage Rhinsmühlen beginnt mit dem Wiedereinsetzen der Mäander der dritte Abschnitt des Flusslaufes der Pritzerber Laake (Abb. 6, südöstlicher Teil des Ausschnitts). Bis zur Einmündung in die Nauen-Friesacker Urhavel nördlich von Stölln sind mehrere, sehr gut erhaltene Großmäander ausgebildet, von denen der Großmäander von Kornhorst nordöstlich von Lochow wegen seiner Klarheit heraussticht (Abb. 6). Er besitzt einen Radius von ca. 750 m, deutliche *Point-bars*, und scheint kaum durch jüngere fluviatile Prozesse verändert. Wenige Kilometer weiter westlich des Mäanders mündet bei Lochow von Südwesten ein Geflecht von Altläufen aus Richtung Hohennauen ein, wobei morphologisch nicht abgeleitet werden kann, welches der Gerinne älter bzw. jünger ist (Abb. 6, türkiser Pfeil). An der Ausbildung der Mäander ändert die Einmündung nichts; sie sind in Gefällerichtung unverändert erhalten und sowohl südlich als auch nördlich der Kleßener Pforte ausgebildet. Es kann aus der Morphologie heraus auch nicht entschieden werden, ob die Mäander nördlich

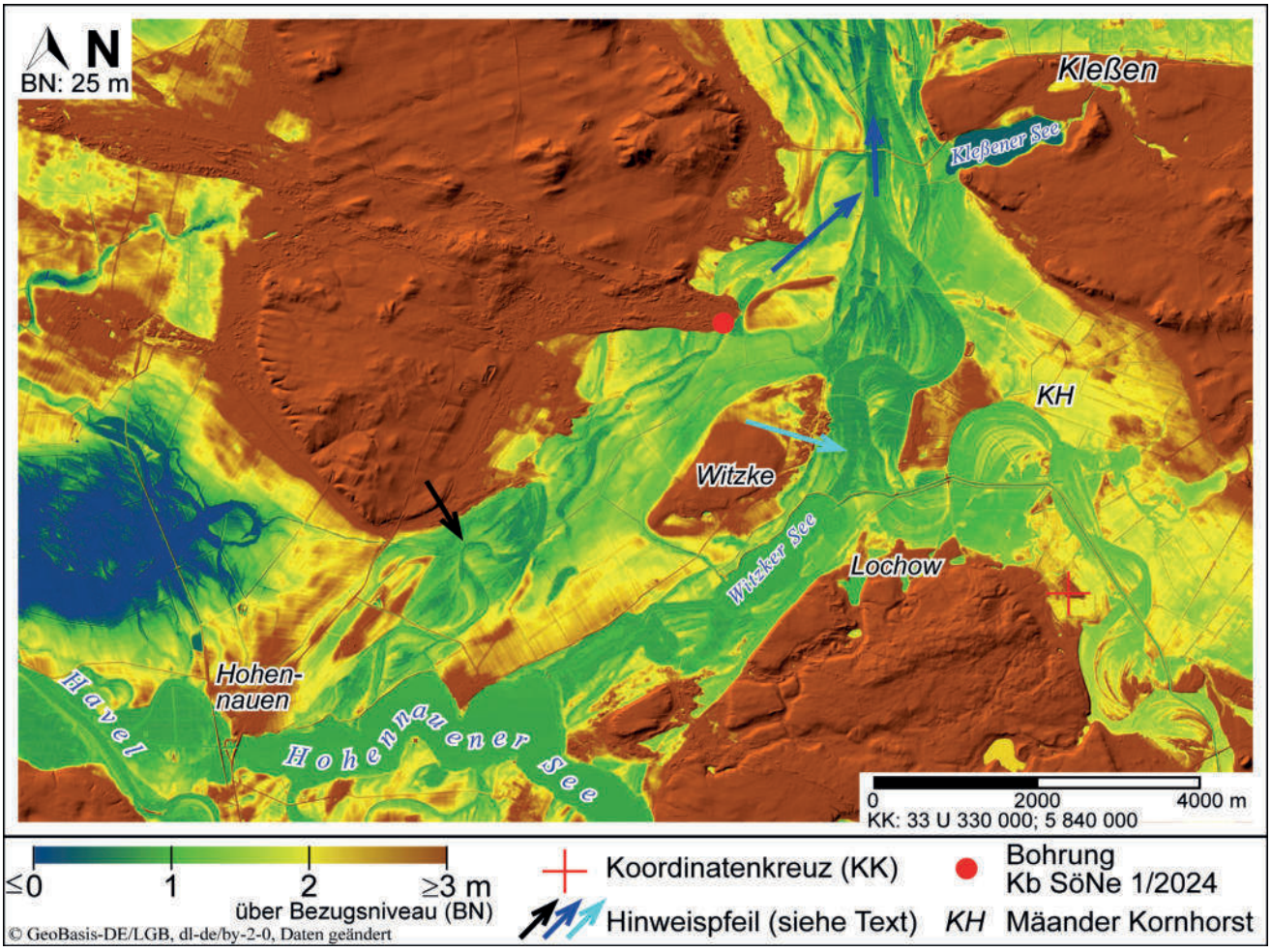


Abb. 6: Der Paläofluss Hohennauen-Kleßen. Im südöstlichen Ausschnitt sind Mäander des Paläoflusses der Pritzerber Laake zu erkennen.

Fig. 6: The paleoriver of Hohennauen-Kleßen. In the south-eastern part, meanders of the paleoriver of Pritzerber Laake can be seen.

der Engstelle von der Nauen-Friesacker Urhavel oder von dem Paläofluss der Pritzerber Laake geformt wurden. Der Abschnitt Rhinsmühlen bis Lochow weist ein Gefälle von 0,9 m (bis 26,0 m NHN) und von Lochow bis Stölln eines von einem weiteren Meter auf (bis 25,0 m NHN). Der weitere Verlauf folgt dem der Nauen-Friesacker Urhavel.

Die Flussläufe des Hohennauen-Kleßener Paläoflusses

Nördlich von Rathenow, knapp südlich des Hohennauener Sees, zweigen von der heutigen Havel mehrere fluviatile Strukturen in Richtung Nordost ab, die das Rhinower Ländchen östlich umfließen. Sie queren den heutigen Hohennauener und auch den Witzker See und lassen sich ca. 10 km in nördlicher Richtung bis zur Kleßener Pforte nachweisen. Bei den Flussläufen ab Hohennauen handelt es sich um ein System zweier Hauptgerinne (Abb. 6). Die kleine Hochflächeninsel von Witzke wird dabei sowohl nordwestlich als auch südöstlich umflossen. Erst an der ca. 1,8 km breiten Kleßener Pforte vereinigen sich die Hauptgerinne zu einem System (Abb. 6, blaue Pfeile), wobei sich das südöstliche Gerinne nördlich von Lochow mit den Altläufen des Flusslaufs der Pritzerber Laake vereinigt (Abb. 6, türkiser Pfeil). Der weitere Verlauf gleicht dem Paläofluss der Pritzerber Laake bzw. ab Stölln dem der Nauen-Friesacker Urhavel.

Die Paläoflussläufe beider Hauptgerinne verlaufen leicht bis moderat geschwungen. Nur das nordwestliche Gerinne zeigt einen mäßig entwickelten Mäander (Abb. 6, schwarzer Pfeil). Gut entwickelte Mäander finden sich erst ab der Vereinigung mit dem Paläofluss der Pritzerber Laake nördlich von Lochow. Die Hauptgerinne sind intern in weitere, sich weiter verzweigende und zusammenfließende Untergerinne gegliedert. Am nordwestlichen Gerinnesystem finden sich vereinzelte Überwehungen der Paläoflussbetten, wobei an der Bohrstelle Kb SöNe 1/2024 die Düne das Teilgerinne nahezu vollständig blockiert (Abb. 6). Da das nordwestliche Gerinnesystem etwas höher liegt als das südöstliche, ist es sehr wahrscheinlich als erstes inaktiv geworden. Erreichen die Altläufe bei Hohennauen an der heutigen Havel noch 26,9 m NHN, so fällt ihr Niveau über Lochow mit 26,0 m NHN bis nach Stölln auf ca. 25,0 m NHN ab.

Flussläufe der Urelbe im Havelland

Paläoflussläufe, die eindeutig der Elbe zugeordnet werden können, lassen sich im Havelland im äußersten Südwesten nachweisen. Sie zweigen als morphologisch erkennbare Gerinne nördlich von Magdeburg vom heutigen Elblauf ab. Abschnittsweise sind sie als kleine Bäche – wie die Stremme – bis heute wasserführend, dienen aber nur noch als lokale Vorflut. Es handelt sich um zahlreiche, intensiv verzweigte Altläufe, die sich in Richtung Ost bis Nordnordost fächerförmig aufspreizen und einen Schwemmfächer bilden (Abb. 7). Sie verlaufen meist sanft bis moderat geschwungen. Es finden sich aber wiederholt mäandrierende Abschnitte. Die Breite morphologisch deutlich ausgebildeter Einzelgerinne schwankt in einem weiten Rahmen zwischen 10 und ca. 70 m. Die erkennbaren Mäander haben meist Radien zwischen 200 und 400 m, in einem Fall aber auch von ca. 1 km. Paläoflussläufe, die in ihrer Größe etwa der heutigen, in einem Gerinnebett abfließenden Elbe entsprechen, sind nicht vorhanden. Die zahlreichen Altläufe der Urelbe münden vom Breitlingsee im Süden bis Rathenow im Norden in die heutige Havel ein. Östlich der Havel sind sie in dieser morphologischen Ausbildung nicht nachweisbar.

Das Höhenniveau der Urelbeläufe setzt an der Landesgrenze bei ca. 32,5 m NHN ein und fällt in östlicher Richtung bis zum Breitlingsee auf 28,1 m NHN ein. In nordnordöstlicher Richtung nach Rathenow dachen sich die Urelbeläufe bis auf etwas unter 27,7 m NHN ab.

Zur Altersstellung der Flussläufe im Havelland

Um einen Überblick über die chronologische Abfolge der verschiedenen Paläoflusssysteme entlang der Havel zu erhalten, wurde an mehreren Positionen die limnisch-telmatische Füllung von Paläoflussläufen pollenanalytisch untersucht. Zwei weitere Datierungsoptionen ergeben sich aus den älteren Untersuchungen von Kloss (1987a, b) sowie von Mundel, Trettin & Hiller (1983), die verlandete Altarme der Nauen-Friesacker Urhavel beprobt haben, auch wenn sich die Bohrpositionen nur noch ungefähr – mit einem Fehler im Dekameterbereich – bestimmen lassen.

Obere Havel und Havelseen

Zur Oberen Havel nördlich von Hennigsdorf existieren derzeit nur indirekte Datierungen der fluviatilen Aktivität. Die Erwähnung des westlich der aktuellen Havel gelegenen Paläoflusslaufs als „Doofe“ Havel legt nahe, dass zumindest in Abschnitten dieser Flusslauf historisch ist. Für den Abzweig in Richtung Schleuse Hohenbruch gilt wegen der Torffüllung ein prähistorisches Alter als sicher, ebenso für den südwestlichen Paläoflusslauf, der das Berliner Stadtgebiet erreicht und in die Kuhlake übergeht.

Im südöstlichen Stadtgebiet von Hennigsdorf, etwas mehr als 1 km nördlich der heutigen Einmündung der Havel in den Nieder-Neuendorfer See, existiert vom westlichen Ufer eine Vielzahl an hydrogeologischen Bohrungen, die teilweise organogene Ablagerungen führen (Abb. 8a). Gerahmt von weichselzeitlichem Geschiebemergel ist auf einer Strecke von wenigstens 700 m ein schmales, ehemals von der Havel durchströmtes Rinnenrestgewässer aufgeschlossen worden. Dessen Füllung besteht aus zwischen glazifluviatilen und fluviatilen Sanden und Kiesen eingebetteten Stillwasserablagerungen, meist kalkhaltigen Sand-, Schluff- und detritischen Mudden (Abb. 8b; vgl. LBGR 2025). Nur in wenigen Fällen liegt den Mudden direkt Torf auf (z. B. Hy HgdB 1/2004 UP; Abb. 8b). Die Mächtigkeiten dieser Bildungen schwanken zwischen minimal 1,8 m (Hy HgdB 2/2004 UP) und maximal 21,3 m (Hy HgdB 7/2005). Oberhalb der hangenden fluviatilen Sande folgt nochmals Torf,

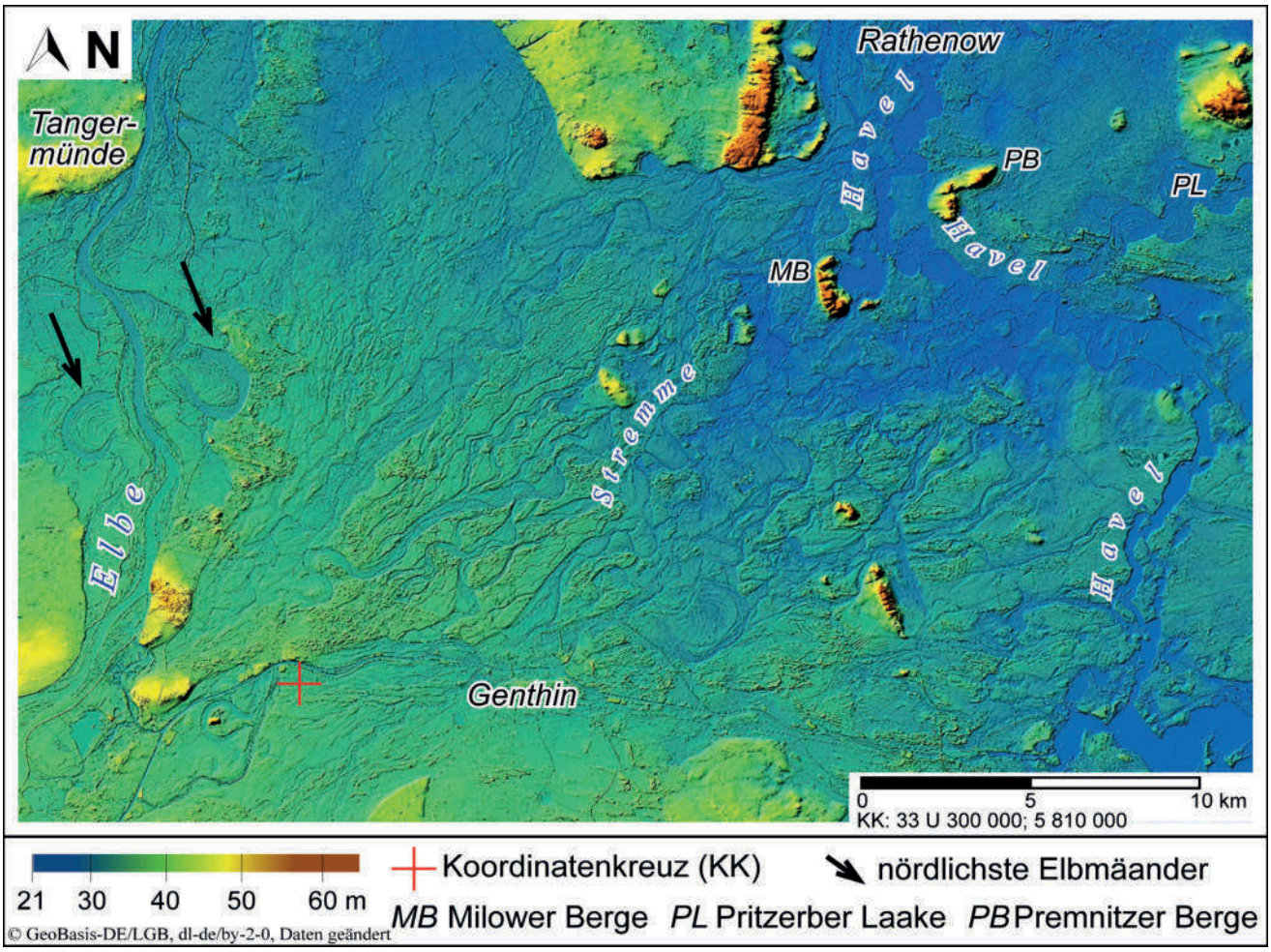


Abb. 7: Der Elbeschwemmfächer zwischen heutiger Elbe und Havel
Fig. 7: The alluvial fan of River Elbe between modern Elbe River and Havel River

der die heutigen, in Hennigsdorf teils überbauten Niederungsgebiete beiderseits der Havel einnimmt. Im ehemaligen See legen die Mächtigkeiten und die Verteilung der pollenanalytisch und zum Teil auch durch den Nachweis der Laacher-See-Tephra (LST) gesichert alleröd- bis jungdryaszeitlichen Ablagerungen von mindestens 5 m (Hy HgdB 23/2011 UP; vgl. Abb. 8b und 9) einen möglichen Durchfluss der Havel zu dieser Zeit nahe. Abgeleitet aus den übrigen Pollenbefunden (vgl. Abb. 8b) dürfte die in der Hy HgdB 7/2005 erreichte Mächtigkeit unter Vernachlässigung der Kompaktionsraten mit maximal 16 m jedoch noch deutlich höher gelegen haben. Zumindest für die rinnentiefsten Bereiche kann von einer bis in das Subboreal anhaltenden Stillwassersedimentation ausgegangen werden (Hy HgdB 3/2004 UP; vgl. Abb. 8b und 10). Im südlichen Teil waren allerdings im Atlantikum Teile der Uferbereiche schon verlandet (Hy HgdB 1/2004 UP; Abb. 8b). Die in den meisten Profilen über Mudde folgenden fluviatilen Havelsande wurden – unter Einbeziehung der hangenden, bezüglich ihrer Unterkante mit durchschnittlich 25 m NHN sehr niveaukonstanten jungsubatlantischen Torfe (Abb. 8b und 10) – im Zeitraum vom ausgehenden Subboreal bis in das beginnende Jüngere Subatlantikum geschüttet.

Vom Wannsee existieren aus den Uferbereichen der Pfaueninsel pollenanalytische Untersuchungen von Brande (2008). Er datiert den Beginn der limnischen Sedimentation ebenfalls in das Alleröd. Pollenanalysen aus dem tiefen Hauptbecken liegen bisher nicht vor.

Weiter flussabwärts existiert für den Breitling (Abb. 1), westlich von Brandenburg an der Havel, ein Basisprofil (Abb. 11; vgl. LUA 2005). Der auf Toteisaustau zurückgehende See weist eine für Berlin-Brandenburg zwar typische (Strahl 2005), aber sehr geringmächtige und unvollständig ausgebildete limnische Weichselspätglazialsequenz aus Kalk- und Schluffmudde einschließlich der LST auf, die bereits im Prä-Alleröd einsetzt. Die sehr geringe Gesamtmächtigkeit der weichselspätglazialen Sedimente von nur 0,5 m einschließlich mehrerer Hiaten zeugt von einem noch in Entstehung begriffenen, nicht in seiner finalen Form ausgebildeten Seebecken. Das Tieftauen des Toteises verlief hier sehr wahrscheinlich ungleichmäßig und verstärkte sich erst ab der kiefernreichen Phase des Alleröd (Abb. 11). Ein substantieller fluviatiler Sedimenteintrag ist für den weichselspätglazialen Abschnitt nicht zu erkennen.

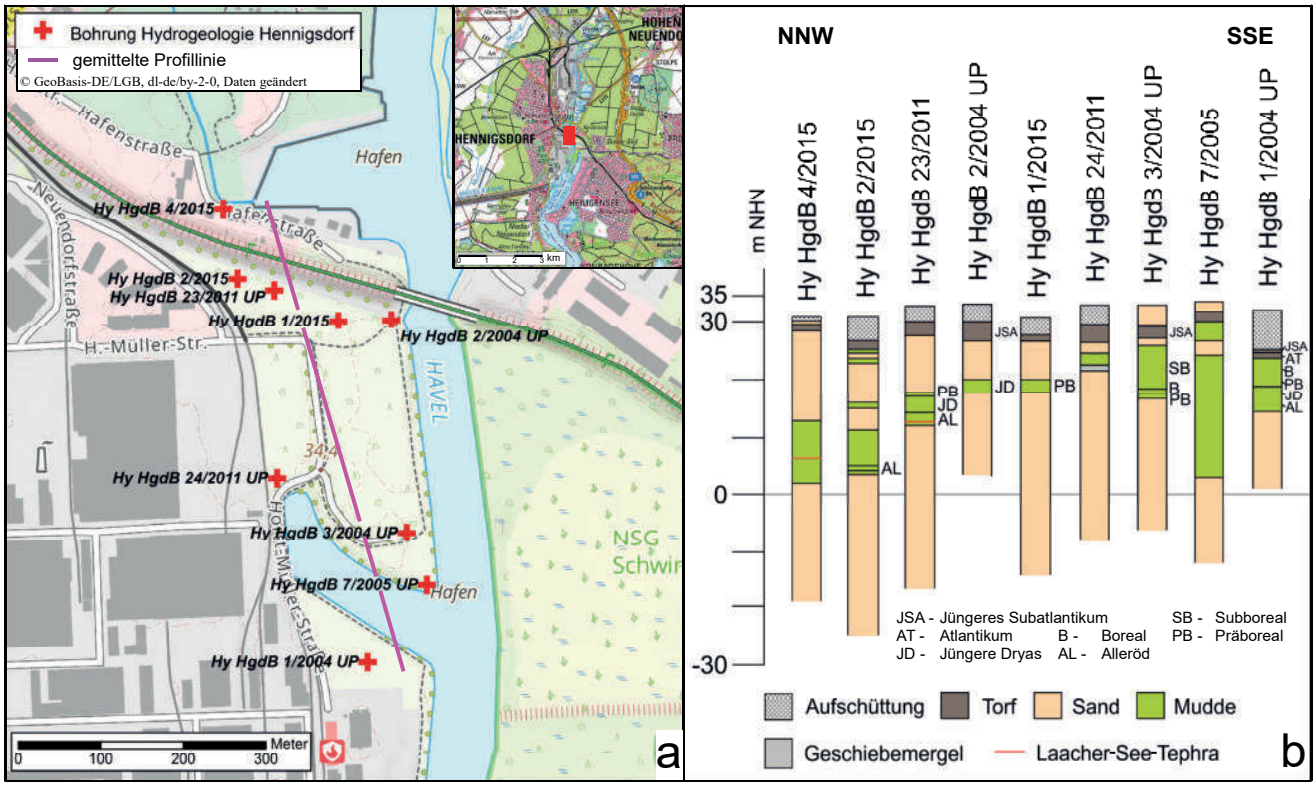


Abb. 8: *a – Lage von ausgewählten Bohrungen mit organogenen Ablagerungen entlang des westlichen Havelufers in Hennigsdorf; b – Vereinfachte Profildarstellung der ausgewählten Bohrungen teils einschließlich pollenanalytischer Stratifizierung*

Fig. 8: *a – Location of selected boreholes with organogenic deposits along the western bank of Havel river in Hennigsdorf; b – Simplified profile representation of the selected boreholes, partly including pollen-analytical stratification*

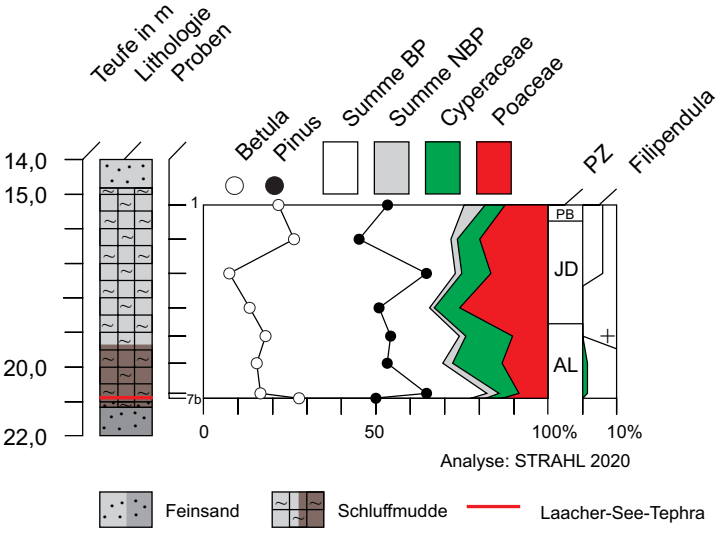


Abb. 9: *Gekürztes Pollendiagramm der Bohrung Hy Hennigsdorf 23/2011 (Hy HgdB 23/2011 UP)*
Grundsumme = Baumpollen + Nichtbaumpollen = BP + NBP = ±335 = 100% exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste sowie präquartäre Sporomorphen, Werte <1% zehnfach erhöht, PZ = Pollenzone

Fig. 9: *Simplified pollen diagram of the borehole Hy Hennigsdorf 23/2011 (Hy HgdB 23/2011 UP)*
Basic sum = tree pollen + non-tree pollen = BP + NBP = ±335 = 100% excl. marsh and aquatic plants, algae, plankton and other micro-remnants as well as prequaternary sporomorphs, values <1% increased tenfold, PZ = pollen zone

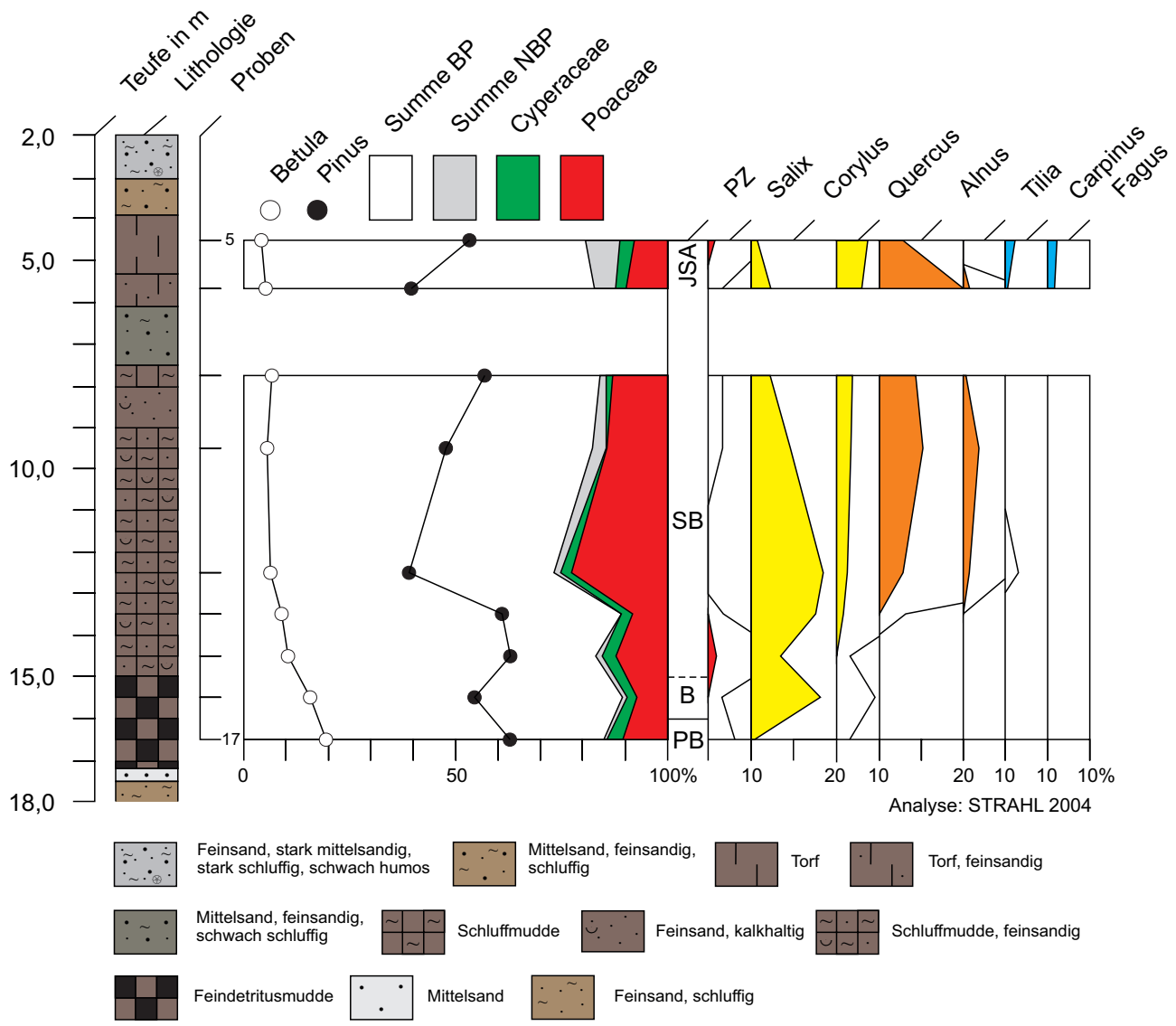


Abb. 10: Gekürztes Pollendiagramm der Bohrung Hy HgdB 3/2004 UP
Grundsumme = Baumpollen + Nichtbaumpollen = BP + NBP = ±335 = 100% exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste sowie präquartäre Sporomorphen, Werte <1% zehnfach erhöht, PZ = Pollenzone

Fig. 10: Simplified pollen diagram of the borehole Hy HgdB 3/2004 UP
Basic sum = tree pollen + non-tree pollen = BP + NBP = ±335 = 100% excl. marsh and aquatic plants, algae, plankton and other micro-remnants as well as prequaternary sporomorphs, values <1% increased tenfold, PZ = pollen zone

Bohrpunkt Kb Fas 2/2024 – Nauen-Friesacker Urhavel

Zwischen Falkensee und Brieselang befindet sich im Bredower Forst einer der Mäander aus dem Abschnitt 2 der Nauen-Friesacker Urhavel. Die Bohrung Kb Fas 2/2024 wurde im morphologisch jüngsten Gerinnebett des Schlaggraben-Flusslaufs niedergebracht (Abb. 3b). Die limnisch-telmatische Füllung des Altlaufs ist an dieser Stelle 2,96 mächtig, wobei bis 3,0 m Tiefe kalkhaltiger Feinsand erbohrt wurde. Die limnische Phase des Havel-Altwassers erstreckte sich vom Alleröd bis in die Jüngere Dryas (Abb. 12). Bezüglich der pollenanalytischen Befunde setzte die Akkumulation teils Mollusken führender Kalkmudde erst im Kiefern (*Pinus*)-dominierten Teil des Alleröd vor dem Niedergang der hier 0,5 cm mächtigen LST ein. Mit dem Beginn der Jüngeren Dryas setzte sich zwar die Sedimentation von Kalkmudde fort, allerdings stehen die deutlichen Sandanteile für einen zunehmenden periglazialen Eintrag durch die klimabedingte Öffnung der Landschaft. Die jungdryaszeitliche Kalkmudde wird diskordant durch während des Präboreal gebildeten Torf überlagert. Die Waldgemeinschaften waren bereits kieferndominiert und gehörten damit nicht dem frühen Präboreal an. Vom ausgehenden Präboreal bis in das Subboreal unterblieb weiterer Mooraufwuchs. Ein muddiger Torf markiert die Wiedervernässung des Standortes während des höheren Subboreal. Der darüber folgende und das Profil abschließende Torf entstammt dem Älteren Subatlantikum.

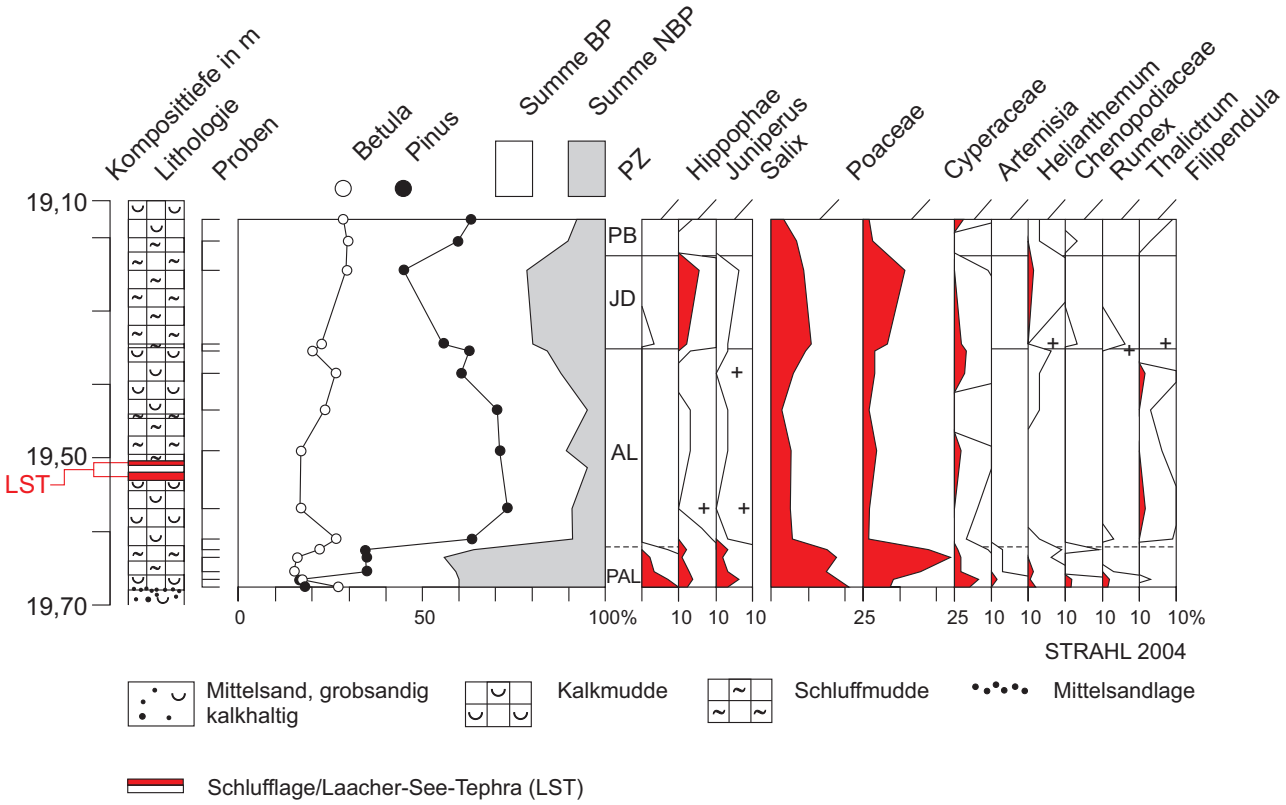


Abb. 11: Gekürztes Pollendiagramm der Bohrung BRE C Breitlingsee
Grundsumme = Baumpollen + Nichtbaumpollen = BP + NBP = ±335 = 100% exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste sowie präquartäre Sporomorphen, Werte <1% zehnfach erhöht, PZ = Pollenzone, + = außerhalb der Grundsumme

Fig. 11: Simplified pollen diagram of the borehole BRE C Breitlingsee
Basic sum = tree pollen + non-tree pollen = BP + NBP = ±335 = 100% excl. marsh and aquatic plants, algae, plankton and other micro-remnants as well as prequaternary sporomorphs, values <1% increased tenfold, PZ = pollen zone, + = form outside the basic sum

Havelländisches Luch nordöstlich Paulinenaue – Nauen-Friesacker Urhavel

Mundel, Trettin & Hiller (1983) veröffentlichten ^{14}C-Daten zur Entwicklung der Moore im Großen Havelländischen Luch. Die Koordinaten des Untersuchungspunktes ließen sich aus der Kartenskizze mit 33 U 346040, 5839760 rekonstruieren, wobei mit einer Abweichung von etwa 30 m zu rechnen ist. Dennoch befindet sich die Bohrposition sicher im Bereich der dort befindlichen Großmäander, die teilweise durch jüngere, kleinere Mäander verändert worden sind. An der Basis, in den liegenden Flussanden, wurde ein konventionelles ^{14}C-Alter von 10 540 ± 150 a BP gemessen. Kalibriert (OxCal 4.4; Bronk Ramsey 2009) ergeben sich 11 947–12 749 a cal BP (95,4 % prob.). Das Basisalter liegt demnach in einer Zeitspanne vom Jüngeren Alleröd bis in die Jüngere Dryas. Auch wenn das von Mundel, Trettin & Hiller (1983) angegebene Alter mit einer mittlerweile veralteten Methode bestimmt wurde und dementsprechende Unsicherheiten aufweist, gilt die Jüngere Dryas bzw. das Alleröd als eine plausible Alterseinstufung, da sie mit dort beobachteten Periglazialstrukturen, wahrscheinlich Tropfenböden, einhergeht. Das Torfwachstum hielt dort bis zum Boreal an, ging aber danach sehr stark zurück und erreichte nur noch minimale Beträge unter 0,08 mm/a.

Mesolithischer Fundplatz Friesack – Nauen-Friesacker Urhavel

Begleitend zu den Ausgrabungen am mesolithischen Fundkomplex Friesack (Gramsch 1987) wurden von Kloss (1987a, b) Pollenanalysen aus benachbarten, verlandeten Gewässern durchgeführt. Das Pollenprofil 4 wurde nach dem DGM1 aus einem verlandeten Altwasser der Nauen-Friesacker Urhavel gewonnen. Die Bohrkoordinaten können hier mit etwa 33 U 333940, 5847620 rekonstruiert werden (Abb. 3d). Da kein konkretes Sedimentprofil angegeben wird, kann lediglich aus den zusammenfassenden Profildarstellungen in Kloss (1987b) von einer Mächtigkeit der limnisch-telmatischen Füllung bis zu etwa 6 m ausgegangen werden. Nach Kloss (1987a) setzt die Sedimentation in den Gewässern in der Jüngeren Dryas ein. Während Präboreal und Boreal recht mächtig ausgebildet sind, sind die Torfwachstumsraten ab dem Atlantikum nur noch gering.

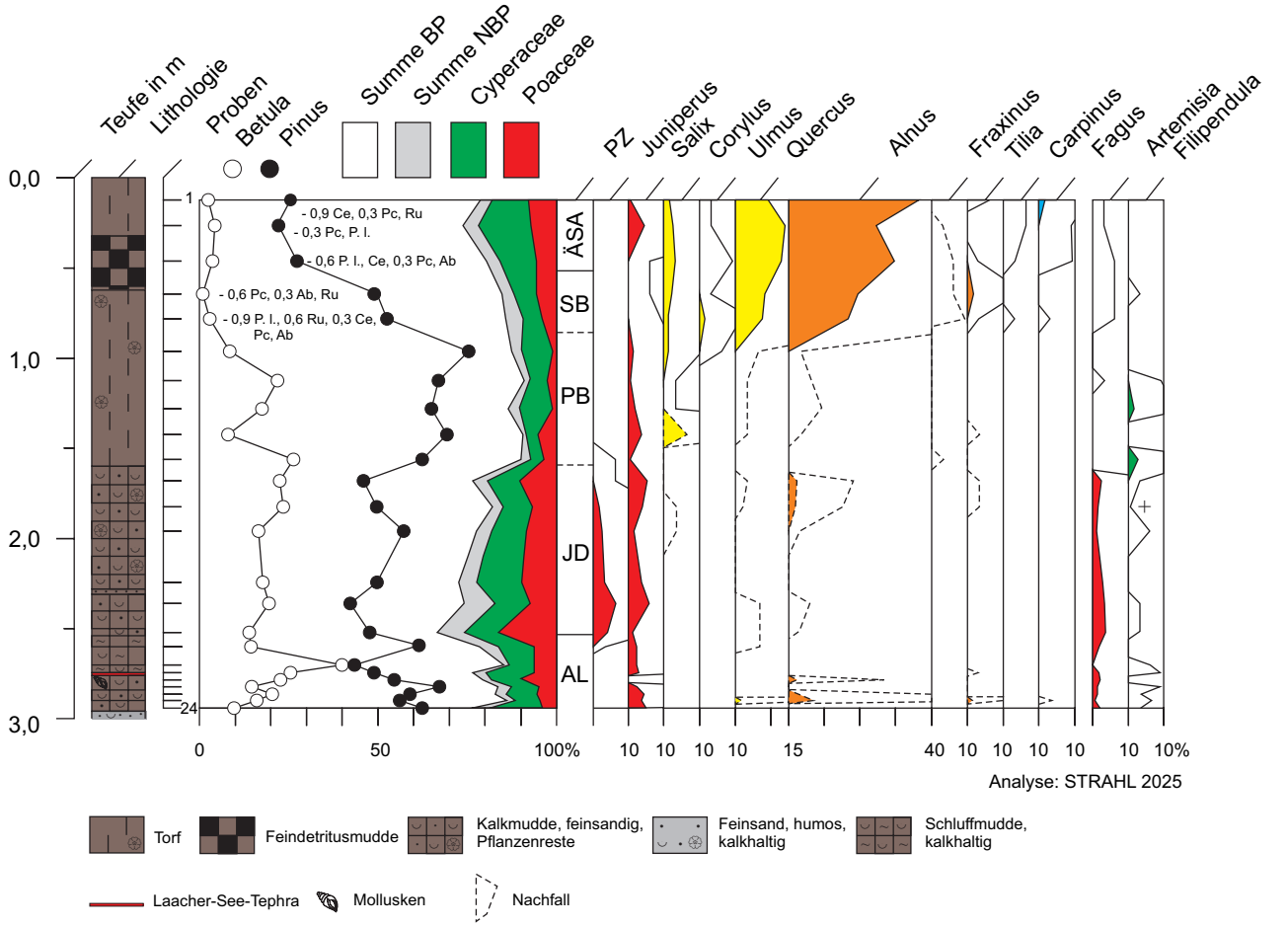


Abb. 12: Gekürztes Pollendiagramm der Bohrung Bohrung Kb Fas 2/2024
Grundsumme = Baumpollen + Nichtbaumpollen = BP + NBP = ±335 = 100% exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste sowie präquartäre Sporomorphen, Werte <1% zehnfach erhöht, PZ = Pollenzone, + = außerhalb der Grundsumme

Fig. 12: Simplified pollen diagram of the borehole Kb Fas 2/2024
Basic sum = tree pollen + non-tree pollen = BP + NBP = ±335 = 100% excl. marsh and aquatic plants, algae, plankton and other micro-remnants as well as prequaternary sporomorphs, values <1% increased tenfold, PZ = pollen zone, + = form outside the basic sum

Bohrpunkt Kb Bam 2/2024 – Paläofluss der Pritzerber Laake

Der Flusslauf der Pritzerber Laake wurde im zentralen Abschnitt in einem der nach Norden ausgreifenden Mäander beprobt (Abb. 5a). Dort befinden sich Prallstellen, die im benachbarten Paläogerinne ausreichende Sedimentmächtigkeiten der organogenen Füllung erwarten ließen. Das Profil überstreicht mit seinen Ablagerungen den Zeitraum des Altholozäns mit Präboreal und Boreal, auf das mit einer erheblichen Schichtlücke jungholozäne Torfe folgen, die vor allem im Älteren Subatlantikum gebildet wurden (Abb. 13). Nur ein geringer Anteil des Torfwachstums fand während des Jüngeren Subatlantikum statt. Der Hiatus wird durch einen mit Holz angereicherten Horizont auch optisch markiert. Die limnische Phase ist auf das Altholozän beschränkt. Sie setzte im bereits fortgeschrittenen Präboreal innerhalb der kiefernreichen Phase mit über Feinsand folgender toniger Detritusmudde ein, an die sich dann Lebermudde anschloss. Der Übergang in das Boreal, in dem Detritusmudde zum Absatz kam, erfolgte offensichtlich nicht kontinuierlich, da die vor allem durch die Kiefer geprägte Anfangsphase mit noch geringen Hasel-Anteilen fehlt. Im weiteren Verlauf fiel das Gewässer trocken und war bis in das Ältere Subatlantikum hinein in der Sedimentation inaktiv. Erst infolge Grundwasserspiegelanstiegs begann während des Älteren Subatlantikum Torf aufzuwachsen.

Bohrpunkt Kb SöNe 1/2024 – Paläofluss Hohennauen-Kleßen

Zwischen Hohennauen und Kleßen wurde für die Kb SöNe 1/2024 (s. Abb. 6) eine Stelle des nordöstlichen Hauptgerinnes ausgewählt, an der der Flusslauf von Dünen überweht wurde. Es handelt sich hier um eher gestreckte

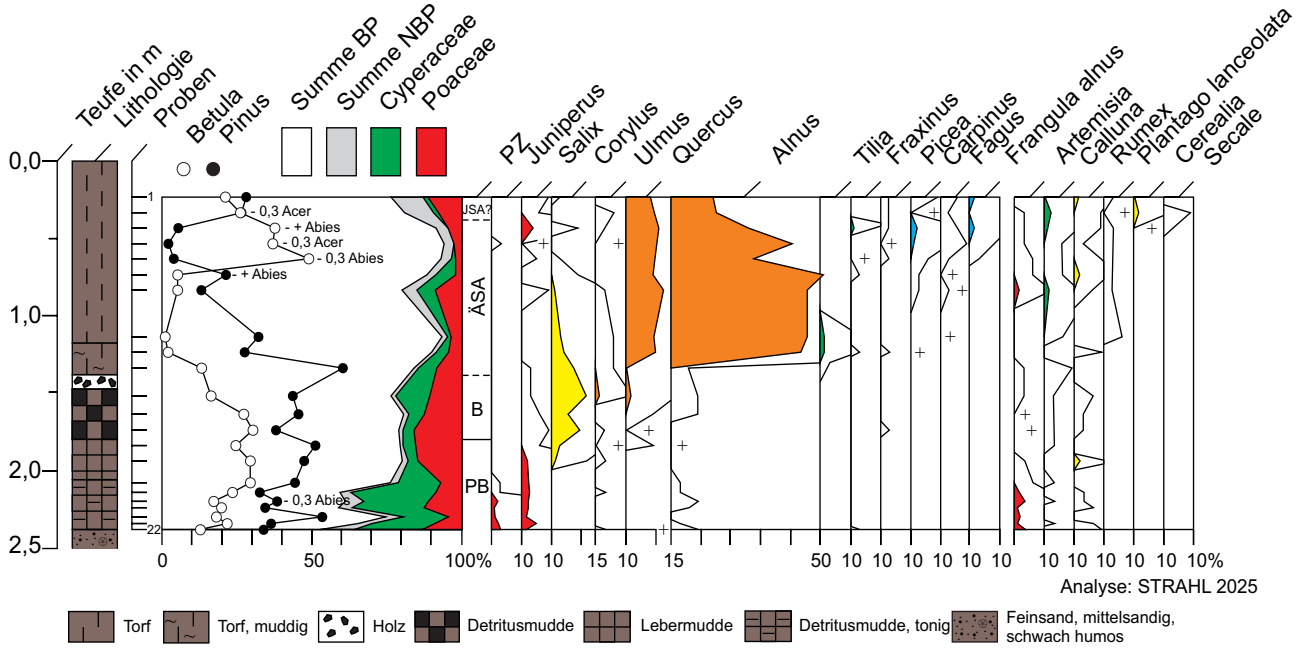


Abb. 13: Gekürztes Pollendiagramm der Bohrung Bohrung Kb Bam 2/2024
Grundsumme = Baumpollen + Nichtbaumpollen = BP + NBP = ±335 = 100% exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste sowie präquartäre Sporomorphen, Werte <1% zehnfach erhöht, PZ = Pollenzone, + = außerhalb der Grundsumme

Fig. 13: Simplified pollen diagram of the borehole Kb Bam 2/2024
Basic sum = tree pollen + non-tree pollen = BP + NBP = ±335 = 100% excl. marsh and aquatic plants, algae, plankton and other micro-remnants as well as prequaternary sporomorphs, values <1% increased tenfold, PZ = pollen zone, + = form outside the basic sum

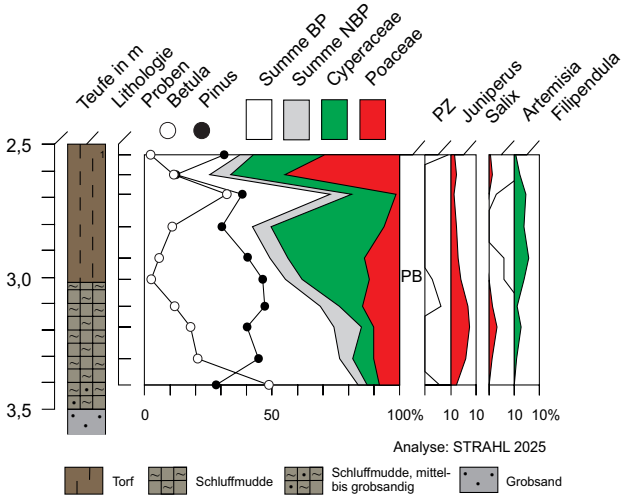


Abb. 14: Gekürztes Pollendiagramm der Bohrung Bohrung Kb SöNe 1/2024
Grundsumme = Baumpollen + Nichtbaumpollen = BP + NBP = ±335 = 100% exkl. Sumpf- und Wasserpflanzen, Algen, Plankter u. a. Mikroreste sowie präquartäre Sporomorphen, Werte <1% zehnfach erhöht, PZ = Pollenzone

Fig. 14: Simplified pollen diagram of the borehole Kb SöNe 1/2024
Basic sum = tree pollen + non-tree pollen = BP + NBP = ±335 = 100% excl. marsh and aquatic plants, algae, plankton and other micro-remnants as well as prequaternary sporomorphs, values <1% increased tenfold, PZ = pollen zone

Flussläufe, so dass im Zentrum des morphologisch jüngsten Altlaufs gebohrt wurde. Die aufgewehte Düne besitzt zwar die Grundform einer Parabeldüne; die aktuelle Oberfläche ist aber kupstenartig bewegt. Da innerhalb der äolischen Sande mehrere fAh-Horizonte erbohrt worden sind, wird davon ausgegangen, dass die Düne im Holozän mehrfach aktiv war. Die limnisch-telmatische Füllung wurde unter 2,53 m mächtigem äolischen Feinsand angetroffen. Über vermutlich weichselspätglazialem fluviatilen Grobsand setzte die Sedimentation noch im frühen Präboreal mit sandiger Schluffmudde ein (Abb. 14). Die Umgebung war durch eine lichte Birken-Kiefern-Bewaldung geprägt. Der überwiegende Teil des Profils datiert jedoch in die kiefernreiche Phase des Präboreal. Die Verlandung des Standortes wird durch das beginnende Torfwachstum angezeigt. Vermutlich noch im ausgehenden Präboreal wurde das Verlandungsmoor durch die oben genannten Dünensande überweht.

Synthese und Diskussion der Befunde

Obere Havel

Die Paläoflussläufe entlang der Oberen Havel lassen sich problemlos mit der heutigen Havel verbinden, so dass hier kein anderes Fließgewässer als Verursacher der Altläufe infrage kommt (Abb. 15). Da zumindest abschnittsweise die beschriebenen Paläoflussläufe bis ins historische Alter durchflossen blieben, scheint derzeit nur der Abzweig nach Hohenbruch eine Urhavel im Sinne eines prähistorischen Flusslaufs zu sein. Eine genaue Datierung steht aber aus. Offensichtlich ist weiterhin die Diskrepanz zwischen den großen Mäandern entlang des Altlaufs und den deutlich kleineren der heutigen Oberen Havel. Die Großmäander könnten damit ebenfalls prähistorischen Alters sein.

Die Querung des Eberswalder Urstromtals durch die Obere Havel liefert keine Hinweise auf abzweigende oder zulaufende Flussläufe. Weder aus/in Richtung Ost noch aus/in Richtung West sind alte Flussläufe zu erkennen. Die Havel hat hier stets den Weg nach Süden genommen, auch wenn sie, wie im Falle der Hohenbrucher Urhavel, sich bis zu 10 km vom heutigen Havellauf entfernt hat. Für die „Doofe Havel“ und die heutige Havel gilt es als wahrscheinlich, dass sie zeitgleich als Flusslaufverzweigung in Funktion waren.

Nauen-Friesacker Urhavel

Die Nauen-Friesacker Urhavel stellt den zwar wiederholt postulierten Abfluss des Spree-Havel-Systems entlang des Berliner Urstromtals dar, eine konkrete Beschreibung des Flusslaufes erfolgte aber bisher nicht. Das Flusssystem erreichte – ohne Berücksichtigung der Mäanderschlingen – eine Länge von ca. 75 km. Zum Vergleich: Die heutige Havel ab Spandau hat mit gleicher Messmethodik etwa 135 km zurückzulegen (Abb. 15).

Das Abzweigen vom heutigen Havellauf in Spandau und sein Einmünden in die Untere Havel östlich von Havelberg belegen sicher, dass es sich um einen Lauf des Spree-Havel-Systems handelt, der bis zum Alleröd durchgängig aktiv gewesen ist. Eventuell gab es auch noch fluviatile Aktivität bis in die Jüngere Dryas. Da für die Ausbildung der Großmäander mit *Point-bar*-Systemen ein gewisser Zeitraum anzusetzen ist, war die Nauen-Friesacker Urhavel sicher im Älteren Alleröd, eventuell schon im Bölling aktiv. Die Großmäander werden vor allem als westliche Fortsetzung der großen Spreemäander gedeutet (Schulz & Strahl 1997; Juschus 2003) und weniger als südliche Fortsetzung der deutlich kleineren Havelmäander.

Mit einiger Unsicherheit behaftet fallen die Erklärungen zum Formenwandel entlang der Nauen-Friesacker Urhavel aus. Für die eher geraden Flussläufe unmittelbar westlich von Spandau spielt wahrscheinlich das relativ starke Gefälle auf den ersten Kilometern eine Rolle, bevor mit dem Abflachen der Gefällekurve bei Seegefeld das Mäandrie-

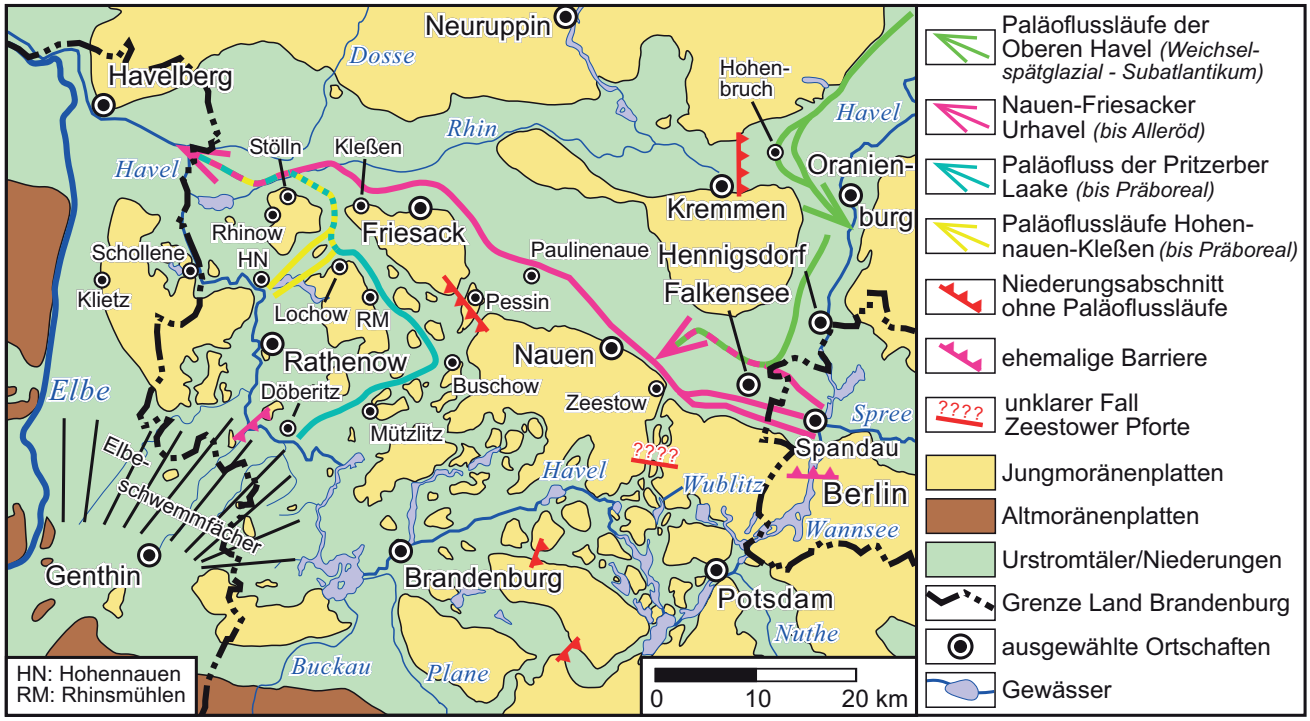


Abb. 15: Paläoflussläufe im Havelland
Fig. 15: Palaeorivers in Havelland region

ren einsetzt. Es kann derzeit nicht gesagt werden, ob die drei dort parallel verlaufenden Altarme und die Nebengerinne gleichzeitig oder mit zeitlichem Versatz aktiv waren. Rätselhaft bleibt vor allem der sprunghafte morphologische Wechsel ab der Zeestower Pforte mit deutlich größeren Mäanderradien weiter westlich. Es wird von den Autoren als möglich erachtet, dass aus Richtung Süden durch die Pforte deutliche Wassermengen der Nauen-Friesacker Urhavel zugeflossen sind. Die Zeestower Pforte und die südlich sich anschließenden Niederungen bildeten zu dieser Zeit eventuell noch eine Seenkette bis zur Wublitz bei Potsdam, durch die Wasser – ohne die Bildung von Flussläufen – problemlos der Urhavel zufließen konnte. Allerdings bleibt nicht nur die Herkunft der Abflüsse hochspekulativ und vage; auch zur Herkunft der Fließgewässer, die zwischen Zeestower Pforte und Friesack die jüngeren, kleineren Mäanderbögen bildeten, gibt es derzeit keine plausible Erklärung. Erst ab Friesack hat man mit dem von Norden einmündenden Rhin einen entsprechend kleineren Fluss, mit dem die kleineren Mäander problemlos erklärt werden können. Weiter in Richtung Westen stellt das „Gewässerkreuz“ aus Nauen-Friesacker Urhavel und Rhin ein bemerkenswertes Kuriosum dar. Während die Urhavel mit ihren Großmäandern großräumig den Verlauf Ostsüdost-Westnordwest beibehält, fließt der Rhin in dieses – ältere – System von Norden hinein und verlässt es wenige Kilometer weiter westlich nach Süden in Richtung des Gülper Sees. Der Gülper See hat demnach auf den Rhin eine „Anziehungskraft“ ausgeübt, die er bei der Urhavel noch nicht hatte!

Mittlere Havel und Untere Havel

Auch die Tatsache, dass es zwischen Spandau und Pritzerbe keine deutlich abzweigenden Havelläufe gibt, verdient nach Meinung der Autoren eine Erwähnung. Lediglich die Zeestower Pforte böte, bei Klärung der dortigen Verhältnisse, noch Raum für einen abzweigenden Flusslauf. Als Hauptursache für die weitgehende Festlegung der Havel auf ihren heutigen Verlauf wird vermutet, dass der Fluss, von kleinen Zwischenabschnitten abgesehen, nahezu ausschließlich glazialen Rinnen und ihren Seenketten folgt: Das sind die Havelrinne in Berlin bis zum Schwielowsee, die Rinne von Werder (Havel) bis nach Ketzin und die Rinne vom Trebelsee bis zum Breitling. Der weitere, noch seenartige Verlauf bis Pritzerbe wurde ebenfalls durch eine glaziale Rinne vorgegeben, die mit dem Pritzerber See einsetzt und nach Süden bis zum Plauer See verläuft. Erst bei Pritzerbe verlässt der Fluss als eigentliche Untere Havel die aneinandergereihten Rinnen. Erkennbar wird dies auch daran, dass nun die heutige Havel ihren Fließcharakter ändert und ab hier wieder zu mäandrieren beginnt (vgl. Zaumseil 2017). Der nun meist nach Norden gerichtete Verlauf der Unteren Havel quert die glazialen Rinnen im rechten Winkel, so dass diese nur noch bedingt flussablenkend wirken konnten. Eine Ausnahme stellt die Rinne des Hohennauener Sees dar. Westlich des Sees folgt die Havel der Rinne für wenige Kilometer nach Westen. Der Fluss bricht dann wieder nach Norden aus, bis er bei Kuhlhausen das Vereinigte Urstromtal erreicht. Hier ändert die Havel letztmals ihre Hauptrichtung und wendet sich, nun im Urstromtal bleibend, nach Westnordwest der Elbe zu. Die Ursache liegt hier offensichtlich im Vereinigten Urstromtal, das bis heute eine ausgeprägte Tiefenzone der Region bildet. Es ist bemerkenswert, dass sich diese Tiefenzone weitgehend mit der Salzstruktur Rhinow (Stackebrandt & Beer 2010) deckt.

Paläofluss der Pritzerber Laake

Für den Paläofluss der Pritzerber Laake wird die Bezeichnung Urhavel derzeit vermieden, auch wenn die Flussläufe von der aktuellen Havel abzweigen und ihr nach ca. 55 km wieder zulaufen. Da westlich der Havel Altläufe der Urelbe einmünden, kann nicht ausgeschlossen werden, dass Elbwässer den Flusslauf der Pritzerber Laake geformt oder zumindest mitgestaltet haben (Abb. 15). Allerdings ähneln die mäandrierenden Abschnitte des Flusslaufs der Pritzerber Laake morphologisch denen der Nauen-Friesacker Urhavel auffallend stark, während sie sich von denen der Urelbe deutlich unterscheiden. Die Genese als Urhavel wird deshalb als wahrscheinlich – aber eben nicht als sicher – erachtet.

Die Datierung der Füllung der Altläufe belegt, dass sie bis in das Präboreal hinein durchflossen wurden und bis zum Boreal als Sedimentationsraum für Mudden und Torfe fungierten. Die fluviatile Formung setzte aufgrund der sehr gut entwickelten Mäander sicher deutlich früher, eventuell schon in der Jüngeren Dryas, ein. Die Altläufe sind damit jünger als die Nauen-Friesacker Urhavel, aber älter als die Altersannahme von Wiegank (2009a).

Die wechselnden Gefälleverhältnisse, verbunden mit dem morphologischen Wandel des Gerinnebetts, lassen sich nach Meinung der Autoren am besten mit den Verhältnissen im präquartären Untergrund erklären. Sowohl die Mäander der eigentlichen Pritzerber Laake als auch jene im zweiten mäandrierenden Abschnitt bei Rhinsmühlen und Lochow liegen im Topbereich der Salzstruktur Kotzen-Friesack (Stackebrandt & Beer 2010), während der gerade Abschnitt des Paläoflusses sich außerhalb davon befindet. Demnach könnten Gefälleveränderungen durch auf- oder absteigendes Salz den Fluss zur Mäanderbildung animiert oder sie aber wie im Zentralteil weitgehend verhindert haben.

Paläoflüsse Hohennauen-Kleßen

Auch für die Flussbetten, die sich zwischen Hohennauen und Kleßen nachweisen lassen, wird auf die Bezeichnung Urhavel verzichtet, obwohl auch hier die Flussläufe von der heutigen Havel abzweigen und sie diese nach 43 km wieder erreichen (Abb. 15). Jedoch besitzt die morphologische Ausbildung der beiden Hauptgerinne keine ausgeprägte Ähnlichkeit zu den Altläufen der Nauen-Friesacker

Urhavel. Eine Bildung durch ein anderes Fließgewässer als die Havel erscheint durchaus möglich. Als Lieferant der Wässer würde dafür ein Abzweig der Urelbe in Betracht kommen.

Unklarheiten erzeugen die Altersbefunde, da nach den Pollenbefunden an der Bohrstelle Kb SöNe 1/2024 die limnische Sedimentation etwas früher als in der Pritzerber Laake einsetzte und so von einem Nebeneinander oder einem zeitlich eng begrenzten Nacheinander der Flussläufe der Pritzerber Laake und von Hohennauen-Kleßen ausgegangen werden muss. Allerdings gilt, dass der Beginn der Muddesedimentation in den Altläufen für das Alter der jüngsten fluviatilen Aktivität nur einen *terminus ante quem* abbildet. Außerdem bilden die Paläoflüsse ein System mehrerer Gerinne, für die bisher nur eine Datierung vorliegt. Die fast vollständige Blockierung des nordwestlichen Gerinnesystems durch die Düne bei Schönholz (s. Abb. 6) belegt das Ende der dortigen fluviatilen Aktivität mit dem Präboreal.

Urelbeläufe im Havelland

Westlich und südwestlich der Unteren Havel sind Altläufe der Urelbe allgegenwärtig und bilden einen typischen Schwemmfächer aus (Abb. 15). Ihr Zulauf aus Richtung Südost sowie das sie begleitende Vorkommen der kalkfreien Auelehme stellen außer Zweifel, dass er von der Elbe geschüttet wurde. Das zahlreiche Vorkommen eher kleiner, gut verzweigter und vereinzelt mäandrierender Gerinnebetten spricht dafür, dass der Elbeschwemmfächer von einem anastomosierenden Fluss gebildet wurde. Das gilt aber auch für das heutige Elbtal westlich des Landes Schollene. Nordwestlich von Genthin befinden sich – schon recht isoliert – die nördlichsten Altmäander entlang der Elbe (Abb. 7).

Schwieriger ist die Frage zu beantworten, inwieweit die Elbe bei ihren Hochwässern über die moderne Havel hinaus nach Osten ausgegriffen hat. Anastomosierende Flussbetten, die in ihrer Morphologie denen der Urelbe westlich der Havel entsprechen, sind östlich der Havel nicht zu finden. Dies stellt aber keinen sicheren Ausschlussgrund dar, da die Verringerung der Sedimentfracht bei einem potentiellen Queren eines seeartigen Flusses zu anderen Gerinnebettformen jenseits der Querung führen kann. Zum Beispiel fließt die Spree als anastomosierendes Gewässer in den Neuendorfer See im Unterspreewald; sie verlässt ihn aber als mäandrierender Fluss. Jedoch tritt der Auelehm der Elbe und der mit ihm verbundene Bodentyp der Vega östlich der Havel deutlich zurück und fehlt großflächig (Kühn 2004). Lediglich entlang des Hohennauen-Kleßener Paläoflusses tritt er weiter östlich auf. Die Autoren führen einen Teil der Unklarheiten auf eine unscharfe Begriffsverwendung zurück, da durchaus unterschiedliche Prozesse als „weites Ausgreifen der Elbe nach Osten“ bezeichnet werden können. Das betrifft einerseits einzelne, abgrenzbare Gerinne des Elbeschwemmfächers und andererseits das großflächige Überfluten der Luchgebiete mit Hochwässern des Stroms. Für beides finden sich nur vage oder keine Belege. Drittens gibt es aber auch Rückstaueffekte des regional vorhandenen Niederschlags- und Flusswassers, welches am Abfließen gehindert wird. Letzteres hinterlässt, abgesehen vom Torfwachstum, keine sedimentologischen Befunde, die auf die Elbe als Verursacher schließen lassen. Die eigenen Datierungen aus der Pritzerber Laake und vom Bredower Forst sowie die Untersuchungen von Mundel, Trettin & Hiller (1983) sowie von Kloss (1987a) legen solche Rückstaueffekte für das Subatlantikum durchaus nahe; für ältere Phasen des Holozän finden sich dafür hingegen keine Belege.

Zur Ursache der Flussablenkungen

Trotz aller Unsicherheiten bleibt es doch offensichtlich, dass es im Havelland mehrfach zu bedeutenden Flussablenkungen gekommen ist. Die Ablenkungen widersprechen teilweise der „normalen“ fluviatilen Formen- und Talentwicklung, da die Nauen-Friesacker Urhavel einen deutlich kürzeren – und damit gefällereicheren – Flusslauf als die aktuelle Havel darstellte. Umgekehrt sind sowohl die Paläoflussläufe der Pritzerber Laake (55 km) als auch die von Hohennauen-Kleßen (ca. 43 km) länger als der aktuelle Weg der Havel (ca. 40 km).

Wie von Marcinek, Seifert & Zaumseil (1995) beschrieben, zog in der weichselspätglazial-altholozänen Übergangsphase insbesondere die Neubildung von Seebecken, die für kurze Strecken zu einer Verstärkung des Gefälles führte, die Flüsse an. „Erkauft“ wurde dieser schnelle Gefällegewinn dann oft mit einem Gefälleverlust für den weiteren Verlauf, wie er beim Übergang von der Nauen-Friesacker-Urhavel zur heutigen Havel offensichtlich wird.

Die Suche nach Ursachen von Flussablenkungen im Jungmoränenland zielt meist auf das Verschwinden zunächst existierender Barrieren des heutigen Flusslaufs ab. So belegten für die Dahme südlich von Berlin Böttner (1999 und vgl. Juschus, Błaszkiewicz & Böttner 2022) sowie im Südosten Berlins Grünert (2003 und vgl. Strahl 2005) die Laufverlegung des Flusses aufgrund des Ausschmelzens von Toteisblöcken in glazialen Rinnen. Bei Böttner (1999) wurde die Blockade noch durch Dünen verstärkt, die über die toteisplombierte Rinne geweht wurden.

Als geeignete Barriere, die zur Entstehung (und dem Ende) der Nauen-Friesacker Urhavel geführt hat, kommt zwingend der Abschnitt der Wannsee-Havel im Südwesten Berlins in Betracht. Hier findet das heutige Spree-Havelsystem den Weg aus dem Berliner Urstromtal nach Süden. Es ist daher naheliegend, dass es zur Zeit der Nauen-Friesacker Urhavel die Wannsee-Havel noch nicht gegeben hat, wobei die Barriere nicht den gesamten Abschnitt der Wannsee-Havel zu umfassen brauchte. Damit war der Weg nach Süden versperrt, und die Spree-Havel folgte weiter dem

glazifluviatil vorgegebenen Weg nach Westen. Die Obere Havel folgt heute zwar ab Oranienburg der gleichen Rinne, die auch die Wannsee-Havel benutzt. Zwischen Oranienburg und Spandau bildete sie aber nur bedingt eine Barriere, da die Rinne dort in eine deutlich breitere Urstromtalung eingebettet ist. Den Weg durch die Urstromtalung konnte die Obere Havel auch außerhalb der Rinne nach Süden benutzen, wie die westlich des Flusses vorhandenen Altläufe belegen. Im Abschnitt der Wannsee-Havel hingegen trennt die Rinne unmittelbar das Teltow-Plateau von der Nauener Platte; einen möglichen Bypass für die Havel gab es bis zum Austauen des Toteises nicht. Sowohl die Untersuchungen von Brande (2008) zum Wannsee als auch die eigenen Pollendaten sprechen für eine Ablenkung der Nauen-Friesacker-Urhavel zur modernen Havel im Alleröd vor der Ablagerung der LST!

Nicht geklärt ist weiterhin, ob die heutige Havel von Spandau bis zur Pritzerber Laake in einem Stück „in Betrieb“ ging, oder ob es auch hier zu Zwischenphasen kam. So erscheint es für die Autoren durchaus möglich, wenn auch spekulativ, dass zunächst nur die Wannsee-Havel bis Potsdam aktiv wurde und der Fluss zunächst über die Zeestower Pforte wieder in das Berliner Urstromtal zurückkehrte. Weiterhin muss nach den Pollendaten vom Breitling davon ausgegangen werden, dass ein Teil der Gewässer der Mittleren Havel älter ist als die Wannsee-Havel. Solange diesen aber der Anschluss an den Hauptvorfluter fehlte, konnten sie von der Havel nicht durchflossen werden. Ein geringes Durchströmen ist jedoch durch die von Süden kommenden Nebenflüsse (Buckau, Plane, Nuthe) von Anfang an gegeben.

Für den Paläofluss der Pritzerber Laake – wenn man ihn als Urhavel annimmt – existiert eine mögliche Barrieresituation an der heutigen Havel: Nur 3 km flussabwärts von Döberitz befindet sich ein Becken, das von den Milower Bergen/Vieritzer Berg und den Premnitzer Bergen eingerahmt, aber auch von der Havel und der Stremme durchflossen wird (vgl. Abb. 7). Für die aktuelle Havelaue bildet der „Durchbruch“ an den Premnitzer Bergen eine ausgesprochene Engstelle. Mehrfach erbohrte Mudden (u. a. Bohrungen Hy MloRa 3 und Ig MloRa 2/2007, LBGR 2025) belegen im Becken die Existenz eines mittlerweile verlandeten Sees, wobei bisher keine Untersuchungen zum Alter der Sedimentfüllung vorliegen. War dieses Seebecken zur Zeit des Paläoflusses – in Analogie zur Wannsee-Havel – ebenfalls mit Toteis versperrt, so musste sich die Urhavel einen anderen Weg suchen, den sie entlang der Pritzerber Laake gefunden haben dürfte.

Schwierig bleibt hingegen die Suche nach einer Barriere für den Paläofluss von Hohennauen-Kleßen. Hier findet sich keine Engstelle entlang des Flusses. Jedoch wird direkt bei Hohennauen eine markante glaziale Rinne gequert. Sie wird im Osten vom Hohennauener See eingenommen; ab Hohennauen wird sie für ca. 6 km von der Havel in Richtung Westen benutzt, bis diese wieder nach Norden ausschwenkt. Ihr westliches Ende bildet das Becken des Schollener Sees. Es wird für möglich gehalten, dass bei einer Blockierung der Rinne mit Toteis ein Flusslauf durchaus abgelenkt werden konnte. Allerdings war das Teilbecken des Schollener Sees nach Mathews (2000) bereits im Meiendorf als Sedimentationsraum aktiv, deutlich vor dem Präboreal. Nichtsdestotrotz können Teile der Rinne durchaus länger mit Toteis gefüllt geblieben sein (vgl. Błaszkiewicz et al. 2015). Insgesamt sind die geologischen Verhältnisse an der Rinne des Hohennauener Sees kaum bekannt, so dass die genaue Ursache der Ablenkung für den Paläofluss Hohennauen-Kleßen spekulativ bleibt.

Mögliche Beeinflussung der (Ur-)Havel durch neo- und halotektonische Bewegungen

Die Autoren halten es für wahrscheinlich, dass neotektonische Bewegungen das heutige Flussnetz im Havelland ganz wesentlich beeinflusst haben. Stackebrandt (2005) wies darauf hin, dass das Havelmündungsgebiet im Bereich der Hauptabsenkung der mitteleuropäischen Senkungszone liegt. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass man sich in Richtung Südwest (Elbtal westlich von Klietz) und Ostnordost (Eberswalder Urstromtal) aus dem Senkungszentrum in Gebiete bewegt, die eine deutlich geringere Absenkungsrate zeigen. Dies könnte nach Meinung der Autoren sowohl eine der Ursachen für das Ausscheren der heute dort auf höherem Niveau als die Havel fließenden Elbe in das Havelland als auch für das Fehlen von Flussläufen im westlichen Eberswalder Tal darstellen. Für das Fehlen der Flussläufe im Eberswalder Tal spielen eventuell auch glazialisostatische Bewegungen, die mit der Deglaziation verbunden sind, eine unterstützende Rolle. Dass Isostasie die Flussentwicklung beeinflusst, wird auch für das nordamerikanische Vereisungsgebiet angenommen (Pico et al. 2019).

Die im Untergrund des Havellandes mehrfach vorkommenden Salzstrukturen zeigen keine einheitliche Beziehung zur aktuellen Oberfläche. Auch scheinen die Salzstrukturen Brandenburgs unterschiedlich auf die wiederholten Eisbedeckungen im Quartär reagiert zu haben (vgl. Stackebrandt 2016; Haardt et al. 2021 und Juschus et al. 2023), so dass die Strukturen die heutige Oberfläche in einem weiten Rahmen zwischen „nicht nachweisbar“ und „sehr deutlich“ beeinflussen. Ausgedehnte Strukturen, wie die von Kotzen-Friesack und Flatow (Namen der Salzstrukturen nach Stackebrandt & Beer 2010) queren sowohl Urstromtalungen als auch Hochflächen, können sich aber, wie für die Struktur Kotzen-Friesack beschrieben, auf die Formung der Paläoflussbetten ausgewirkt haben. Die bereits genannte Struktur Rhinow liegt im Zentrum eines ausgedehnten Niederungsgebiets; hier scheint eher Salzabwanderung eine Rolle zu spielen. Umgekehrt wird die Struktur Schönwalde, wenige Kilometer nördlich von Falkensee gelegen, an der Oberfläche von einer signifikanten Aufwölbung des Urstromtalbodens nachgezeichnet, die fast nur den Top des zugehörigen Salzstocks umfasst. Die dortigen Urhavelläufe weichen der Struktur auffallend

aus, so dass ein Aufstieg des Salzes im Salzstock postuliert werden kann. Weiterhin befinden sich große Teile der Mittleren Havel zentral über der ausgedehnten Struktur Roskow-Ketzin. Auch hier ist die Beziehung Salzstruktur – Gewässer offensichtlich. Da aber die Havel hier weitgehend glazialen Rinnen folgt, besteht die Beziehung eher zur Formung der glazialen Rinnen und nicht zum eigentlichen Fluss.

Die Flussentwicklung der Havel im nordmitteleuropäischen Kontext

Die Entwicklung der Havel folgt weitgehend den allgemein beschriebenen Phasen für die Genese von Gewässern im Jungmoränenland des nordmitteleuropäischen Tieflandes (Nitz 1984; Marcinek, Seifert & Zaumseil 1995; Starkel 2003; Błaszkiewicz 2011; Kaiser et al. 2012). Auch die Beeinflussung der Havel durch ausschmelzende Toteisblöcke deckt sich sowohl mit dem allgemeinen Modell (Marcinek, Seifert & Zaumseil 1995) als auch mit konkreten Befunden aus Norddeutschland und Nordpolen (Błaszkiewicz et al. 2015; Kaiser et al. 2007; Böttner 1999; Grünert 2003). Für die Mittlere und Untere Havel (Breitling und Schollener See) gibt es erste Indizien für ein nicht synchron verlaufendes Ausschmelzen von Toteisblöcken, wie es von Błaszkiewicz (2011) und Błaszkiewicz et al. (2015) für das nordpolnische Jungmoränenland belegt wurde. Nach Błaszkiewicz (2011) bildeten sich einige Seen während des Bölling, andere während des Alleröd und wieder andere erst zu Beginn des Holozäns. Dies erklärt am besten die eher sukzessive Entwicklung von der Nauen-Friesacker Urhavel zum heutigen Havellauf. Die kontinuierliche Entwässerung durch die Havel, aber auch durch die Nebenflüsse begünstigte während des Weichselspätglazial die langfristige Erhaltung der vergrabenen Eisblöcke in den Senken bis zum frühen Holozän (Błaszkiewicz et al. 2015).

Während die Flusslaufablenkungen eher auf die glaziale Anlage des Gebietes und die Deglaziationsprozesse zurückgeführt werden können, spiegelt die Veränderung der Gerinnebettmuster vor allem die Klimadynamik am Übergang Weichselspätglazial-Fühholozän wider (Starkel 2003; Vandenberghe 1995; Mol, Vandenberghe & Kasse 2000). Die Havel bildete sowohl *Braided-river*-Systeme als auch Großmäander entlang ihres heutigen Verlaufs aus, wobei sich die Großmäander der Havel weitgehend auf die Nauen-Friesacker-Urhavel und eventuell auf die Pritzerber Laake beschränken.

Ausblick und offene Probleme

Die hier dargelegten Befunde haben neben zahlreichen Lösungen doch eine ganze Reihe an Fragen offen gelassen beziehungsweise neue gestellt; vieles trägt weiterhin einen vorläufigen Charakter. So wird von den Autoren das Altersmodell zur Entwicklung der Urhavel als nicht ausreichend belastbar angesehen. Sowohl die relativen als auch die absoluten Alter einzelner Paläogerinnebetten können teilweise nur gemutmaßt werden (z. B. bei den Altläufen von Hohennauen-Kleßen). Auch zu den Urelbeläufen im westlichen Havelland liegen bisher keine verwertbaren Altersdaten vor! Die existierenden Datierungen sind somit deutlich zu erweitern. Dies betrifft einerseits Altersbestimmungen entlang der Paläoflüsse, andererseits steht für einige Fließstränge, die parallel zueinander verlaufen, eine Datierung noch komplett aus. Auch zu den potentiellen Barrieren und ihrer Öffnung entlang der Havel existieren keine gesicherten Altersbestimmungen.

Zu klären ist ebenso, ob die Paläoflüsse der Pritzerber Laake und von Hohennauen-Kleßen durch Altläufe der Havel oder der Elbe gebildet worden sind. Neben morphologischen Analysen der Gerinnebetten bieten sich mineralogische Untersuchungen der Sedimente an. Es wird auch auf das Fehlen von modernen Untersuchungen zur Entwicklung des Elbeschwemmfächers nördlich von Magdeburg verwiesen.

Nicht weiter verfolgt wurde in diesem Artikel die Flussentwicklung der zahlreichen kleineren Fließgewässer, die in der Region der Havel tributär sind und nicht unbedeutende Wassermengen dem Hauptfluss zutragen. So hat jeder der Flüsse und Bäche sicher seine eigene Geschichte mit unterschiedlichen Flusslaufverlegungen und Gerinnebettgenerationen. Aber auch die Beeinflussung der Havel/Urhavel durch die Nebengerinne, wie sie zum Beispiel beim Rhin offensichtlich wird, verdient weitere Beachtung.

Den Rahmen dieses Artikels endgültig gesprengt hätten Untersuchungen zur ältesten Flussgeschichte zwischen den jüngsten glazifluviatilen Abflüssen und der Bildung der ältesten bzw. frühesten Mäandergeneration. Diese Altläufe sind sehr wahrscheinlich vor den Temperaturschwankungen des Weichselspätglazial entstanden. Nimmt man für diese Phase ein *Braided-river*-System an, so finden sich im Havelland an zahlreichen Stellen verwilderte fluviatile bis glazifluviatile Strukturen. Als Beispiel sei der von den Autoren sogenannte Brieselanger Schwemmfächer abgebildet, der vermutlich von einer frühen Urhavel geschüttet wurde (Abb. 16). Deren Untersuchung steht ebenfalls aus.

Zusammenfassung

Untersucht wurde mittels DGM1 und ausgewählten Altersbestimmungen die weichselspätglazial-altholozäne Entwicklung der Havel im Havelland. Als wichtigster Paläofluss wird die Nauen-Friesacker Urhavel vorgestellt, die dem Berliner Urstromtal von Berlin-Spandau bis Havelberg folgte und einen deutlich kürzeren Weg in Richtung Nordsee darstellte. Sie war bis zum Alleröd aktiv. Nach Aufgabe der Nauen-Friesacker Urhavel gab es mit den Paläoflüssen der Pritzerber Laake und von Hohennauen-Kleßen zwei weitere, von der heutigen Havel deutlich abweichende Flussläufe. Sie wurden bis zum Präboreal durchflossen.

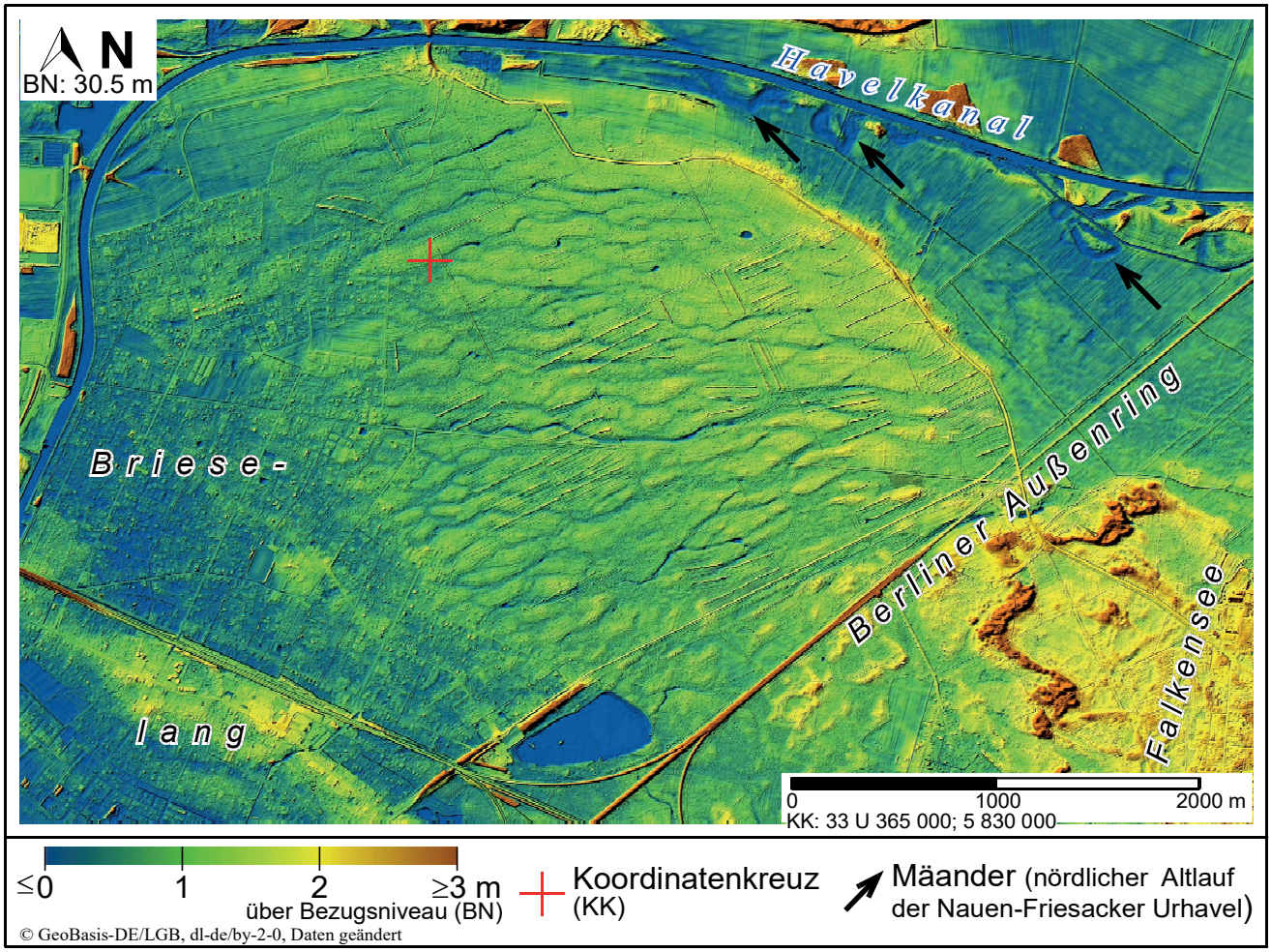


Abb. 16: Der glazifluviatile bis fluviatile Brieselanger Schwemmfächer
Fig. 16: The glaciofluvial to fluvial fan of Brieselang

Allerdings kann nicht ausgeschlossen werden, dass es sich hier um ehemalige Gerinne der Elbe handelt. Die Beeinflussung der Unteren Havel durch das Überfließen von Elbwasser ins Havelgebiet wird ebenfalls diskutiert; ihr zweifellos vorhandener Einfluss auf die Flussentwicklung der Havel sollte aber nicht überbewertet werden.

Summary

Using the DGM1 and age determination, the authors attempted to explicate the Weichselian late glacial to early Holocene development of the Havel River in Western Brandenburg. As the most prominent paleo-river, the Paleohavel of Nauen-Friesack was running within the Warsaw-Berlin ice marginal valley from Berlin-Spandau to Havelberg. Its path was significantly shorter than the current one. It had been active until the Alleroed period. Following the abandonment of the Paleohavel of Nauen-Friesack, there were two further paleo-rivers, the Paleoriver of the Pritzerber Laake as well as the Paleoriver of Hohennauen-Kleßen, both differing significantly from the present-day Havel River. They had been active until the Preboreal period. However, it cannot be ruled out that these paleo-rivers were former channels of River Elbe. The Lower Havel River must have been influenced by floods from the Elbe River, when the waters overflowed towards today's Havel River. However, their importance for the developing Havel River should not be overestimated.

Danksagung

Der Hauptautor bedankt sich bei Daniela Holst (Universität zu Köln). Ohne die Begehung des mesolithischen Fundplatzes Friesack im Herbst 2020, die die Augen für den verschwundenen Flusslauf öffnete, wäre dieser Artikel nicht zustande gekommen.

Literatur

Beschoren, B. (1935): Zur Geschichte des Havellandes und der Havel während des Alluviums. – Jahrbuch der Preußischen geologischen Landesanstalt zu Berlin **55**, S. 238–252

Błaszkiewicz, M. (2011): Timing of the final disappearance of permafrost in the central European Lowland, as reconstructed from the evolution of lakes in N Poland. – Geol. Q. **55**, S. 361–374

Błaszkiewicz, M., Piotrowski, J. A., Brauer, A., Gierszewski, P., Kordowski, J., Kramkowski, M., Lamparski, P., Lorenz, S., Noryśkiewicz, A.M., Ott, F., Słowiński, M. & S. Tyszkowski (2015): Climatic and morphological controls on diachronous postglacial lake and river valley evolution in the area of Last Glaciation, northern Poland. – Quaternary Science Reviews **109**, S. 13–27

Böttner, L. (1999): Die jungquartäre Landschaftsentwicklung im Bereich der Talsandfläche von Märkisch-Buchholz. – Arbeitsberichte des Geographischen Institutes der Humboldt-Universität zu Berlin **37**, 67 S., Berlin

Brande, A. (2008): Die Pfaueninsel - Botanisch-historische Exkursion am 3. Juni 2007. – Verh. Bot. Ver. Berlin Brandenburg **141**, S. 223–250

Brose, F. & J. Marcinek (1995): Brandenburger Eisrandlage und Baruther Urstromtal. – In: Schroeder, J.H. & W. Nowel (Hrsg): Führer zur Geologie von Berlin und Brandenburg, Nr. 3: Lübbenau-Calau, S. 189–195

Bronk Ramsey, Ch. (2009): Bayesian analysis of radiocarbon dates. – Radiocarbon **51**, 1, S. 337–360

Buchta, R. & L. Zaumseil, L. (2017): Hydrographie und Gewässernetz. – In: Kinder, S. & H. Porada (Hrsg.): Das Havelland um Rathenow und Premnitz. – Landschaften in Deutschland **74**, S. 27–35

Carls, R. (1997): Zur weichselspätglazialen und holozänen Entwicklung des Spreetales im Berliner Urstromtal südwestlich von Hangelsberg. – In: Nitz, B. & A. Nass (Hrsg.): Beiträge zu ausgewählten Fragen des Quartärs in Ost- und Mitteleuropa. – Berliner Geographische Arbeiten **84**, S. 75–88

Caspers, G. (2000): Sedimente und Entwicklung des Elbetals im Gebiet der Wische (Sachsen-Anhalt) seit der Weichsel-Kaltzeit. – Untere Havel - Naturkundliche Berichte **10**, S. 32–43

Gramsch, B. (1987): Ausgrabungen auf dem mesolithischen Moorfundplatz bei Friesack, Kr. Nauen. – Veröffentlichungen des Museums für Ur- und Frühgeschichte Potsdam **21**, S. 75–100

Grünert, J. (2003): Zur Genese der Niederungen Krumme Lake und Neue Wiesen in Berlin-Köpenick – Ein Beitrag zur Gewässernetzentwicklung im nordostdeutschen Jungmoränenland). – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **10**, 1/2, S. 165–172

Hardt, J., Hebenstreit, R., Lüthgens, Ch. & M. Böse (2015): High-resolution mapping of ice-marginal landforms in the Barnim region northeast Germany. – Geomorphology **250**, S. 41–52

Hardt, J., Norden, B., Bauer, K., Toelle, O. & J. Krambach (2021): Surface cracks – geomorphological indicators for late Quaternary halotectonic movements in Northern Germany. – Earth Surf. Process. Landforms **46**, S. 2963–2983

Juschus, O. (2003): Das Jungmoränenland südlich von Berlin – Untersuchungen zur jungquartären Landschaftsentwicklung zwischen Unterspreewald und Nuthe. – Berliner Geographische Arbeiten **95**, 152 S., Berlin

Juschus, O. (2010): Der maximale Vorstoß des weichselzeitlichen Inlandeises am Nordrand des Lausitzer Grenzwalls und des Flämings. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **17**, 1/2, S. 63–73

Juschus, O., Błaszkiewicz, M. & L. Böttner (2022): To the southern margin of the (last) northern glaciation – a field trip through the young moraine area south-east of Berlin. – DEUQUA Spec. Pub. **4**, S. 19–28

Juschus, O., Dalchow, C., Dannowski, R. & G. Lutze (2023): Oberflächige lineamentartige Strukturen in Nordost-Brandenburg – Zur Genese lange unerkannter Mesoformen der Uckermark. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **30**, S. 39–48

Kaiser, K., Rother, H., Lorenz, S., Gärtner, P. & R. Papenroth (2007): Geomorphic evolution of small river–lake systems in northeast Germany during the Late Quaternary. – Earth Surf. Process. Landf. **32**, S. 1516–1532

Kaiser, K., Lorenz, S., Germer, S., Juschus, O., Küster, M., Libra, J., Bens, O. & R.-F. Hüttl (2012): Late Quaternary evolution of rivers, lakes and peatlands in northeast Germany reflecting past climatic and human impact – an overview. – E&G Quaternary Science Journal **61**, 2, S. 103–132

Kaiser, K., Keller, N., Brande, A., Dalitz, S., Hensel, N., Heussner, K.-U., Kappler, C., Michas, U., Müller, J., Schwalbe, G., Weisse, R. & O. Bens (2018): A large-scale medieval dam-lake cascade in central Europe: Water level dynamics of the Havel River, Berlin-Brandenburg region, Germany. – Geoarchaeology **33**, 2, S. 237–259

Keilhack, K. (1887): Ueber alte Elbläufe zwischen Magdeburg und Havelberg. – Jahrbuch der königlich Preußischen geologischen Landesanstalt und Bergakademie zu Berlin für das Jahr 1886, S. 238–252

Kloss, K. (1987a): Pollenanalysen zur Vegetationsgeschichte, Moorentwicklung und mesolithisch-neolithischen Besiedlung im Unteren Rhinluch bei Friesack, Bezirk Potsdam. – Veröffentlichungen des Museums für Ur- und Frühgeschichte Potsdam **21**, S. 101–120

Kloss, K. (1987b): Zur Umwelt mesolithischer Jäger und Sammler im Unteren Rhinluch bei Friesack. – Veröffentlichungen des Museums für Ur- und Frühgeschichte Potsdam **21**, S. 121–130

Kühn, D. (2010): Leitbodengesellschaften. – In: Stackebrandt, W. (Hrsg.): Atlas zur Geologie von Brandenburg. – S. 42–43, Cottbus

LBGR (2025): https://geo.brandenburg.de/?page=Bohrpunktkarte (Stand 22.05.2025)

Lembke, H. (1936): Von der „Urspree" zum heutigen Spreelauf. – Festschrift für Norbert Krebs zum 60. Geburtstag, S. 140–145, Stuttgart

Liedtke, H. (1975): Die nordischen Vereisungen in Mitteleuropa: Erläuterung zu einer farbigen Übersichtskarte im Maßstab 1:1 000 000. – Forschungen zur deutschen Landeskunde **204**, 160 S.

LUA (2005, Hrsg.): Paläolimnologische Leitbildkonstruktion und biozönotisch basierte Bewertungsansätze für Flussseen am Beispiel der Diatomeen – ein Beitrag zu Bewirtschaftungsmöglichkeiten im Einzugsgebiet der Havel. – Fachbeiträge des Landesumweltamtes **93**, 43 S.

Marcinek, J., Seifert, S. & L. Zaumseil (1995): Zur Anlage des Gewässernetzes in Brandenburg. – Berichte zur deutschen Landeskunde **69**, S. 205–229

Mathews, A. (2000): Palynologische Untersuchungen zur Vegetationsentwicklung im Mittelelbegebiet. – Telma **30**, S. 9–42

Mol, J., Vandenberghe, J., & C. Kasse (2000): River response to variations of periglacial climate in mid-latitude Europe. – Geomorphology **33**, S. 131–148

Mundel, G. (1969): Zur Entstehung des Havelländischen Luches. – Zeitschrift für Landeskultur **10**, S. 313–323

Mundel, G., Trettin, R. & A. Hiller (1983): Zur Moorentwicklung und Landschaftsgeschichte des Havelländischen Luches. – Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung **23**, S. 225–264

Nitz, B. (1984): Grundzüge der Beckenentwicklung im mitteleuropäischen Tiefland – Modell einer Sediment- und Reliefgenese. – Petermanns Geogr. Mittl. **128**, S. 133–141

Pico, T., Mitrovica, J.X., Perron, J.T., Ferrier, K.L. & J. Braun (2019): Influence of glacial isostatic adjustment on river evolution along the U.S. mid-Atlantic coast. – Earth and Planetary Science Letters **522**, S. 176–185

Schulz, I. & J. Strahl (1997): Geomorphologische und pollenanalytische Untersuchungen im Raum Drahendorf südöstlich Fürstenwalde – Ein Beitrag zur Klärung der spät- und postglazialen Entwicklung des Gerinnebettmusters der Spree. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **4**, 2, S. 53–63

Stackebrandt, W. (2005): Neotektonische Aktivitätsgebiete in Brandenburg (Norddeutschland). – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **12**, 1/2, S. 165–172

Stackebrandt, W. (2016): Nachweis junger geologischer Aktivitäten des Diapirs von Sperenberg (Brandenburg) mittels Laserscanaufnahmen. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **23**, 1/2, S. 77–83

Stackebrandt, W. (2018): Mehr als nur die Streusandbüchse - Zur Erdgeschichte von Brandenburg. – 136 S., Potsdam

Stackebrandt, W. & H. Beer (2010): Strukturgeologische Übersicht. – In: Stackebrandt, W. (Hrsg.): Atlas zur Geologie von Brandenburg. – S. 80–81, Cottbus

Starkel, L. (2003): Palaeohydrology of Central Europe. – In: Gregory, K.J. & G. Benito (Hrsg.): Palaeohydrology. Understanding Global Change, S. 77–104

Strahl, J. (2005): Zur Pollenstratigraphie des Weichselspätglazials von Berlin-Brandenburg. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **12**, 1/2, S. 87–112

Vandenberghe, J. (1995): The role of rivers in palaeoclimatic reconstruction. – In: Frenzel, B., Kasse, C., Bohncke, S. & B. Gläser (Hrsg.): European River Activity and Climatic Change During the Lateglacial and Early Holocene, S. 11–19

Weisse, R. (2003): Beiträge zur weichselkaltzeitlichen Morphogenese des Elbhavelwinkels. – Brandenburgische Umweltberichte **14**, 112 S.

Wiegank, F.-M. (2009a): Schmelzwasserrinne und Hochfluttal – die Pritzerber Laake. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **16**, 1/2, S. 55–61

Wiegank, F.-M. (2009b): Die Biotoptypen des Naturschutzgebietes Pritzerber Laake. – Verh. Bot. Ver. Berlin Brandenburg **142**, S. 95–132

Zaumseil, L. (2017): Landschaften und Naturausstattung. – In: Kinder, S. & H. Porada (Hrsg.): Das Havelland um Rathenow und Premnitz. – Landschaften in Deutschland **74**, S. 3–20

Zwenger, W. (2023): Die holozäne Flussentwicklung im Bereich der archäologischen Moorfundstelle Friesack im Unteren Rhinluch (NW Brandenburg). – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **30**, S. 49–63

Anschrift der Autoren:

Dr. Olaf Juschus
Landesamt für Bergbau, Geologie
und Rohstoffe Brandenburg
Inselstr. 26
03046 Cottbus
olaf.juschus@lbgr.brandenburg.de

Dr. Claus Dalchow
Süßkirschenallee 9
15377 Waldsieversdorf
claus_dalchow@web.de

Dr. Ralf Dannowski
Am Diebsgraben 5a
15374 Müncheberg
rdannowski@t-online.de

Dr. Jaqueline Strahl
Landesamt für Bergbau, Geologie
und Rohstoffe Brandenburg
Inselstr. 26
03046 Cottbus
jaqueline.strahl@lbgr.brandenburg.de

Sławomir Kowalski
Landesamt für Bergbau, Geologie
und Rohstoffe Brandenburg
Inselstr. 26
03046 Cottbus
slawomir.kowalski@lbgr.brandenburg.de

Prof. Dr. Mirosław Błaszkiewicz
Polnische Akademie der Wissenschaften,
Institut für Geographie und Raumplanung
Abteilung für Umweltressourcen und Geogefahren
ul. Kopernika 19
87-100 Toruń
miroslaw.blaszkiewicz@geopan.torun.pl

Brandenburg. Geowiss. Beitr.	Cottbus	Bd. 32/2025	S. 123–128	6 Abb., 10 Lit.

Das Marzahner Fenn in Westbrandenburg – ein ganz besonderes Gletscherzungenbecken

The Marzahne Fenn in West Brandenburg - a very special glacial tongue basin

Werner Stackebrandt

Etwa 10 km nördlich des Brandenburger Doms liegt ein ganz besonderes Gletscherzungenbecken: Das Marzahner Fenn (s. Abb. 1).

Gletscherzungenbecken dokumentieren eine besondere Bewegungsform des Eises, die sowohl aus dem norddeutschen Vereisungsgebiet, als auch von Talgletschern aus bergigen Gebieten beschrieben werden. Als Ursache für die meist sehr schmalen aber langen Zungenbecken werden lokale, in der Breite beschränkte aber intensive Gletschervorstöße angesehen. Früher als Gletscherläufe bezeichnet, spricht man heute von surgenden Gletschern. Während im Bergland langgestreckte Zungenbecken allein schon durch die Konturierung durch Talflanken erklärbar sind, sind sie im Norddeutschen Tiefland sehr selten. Hier dominieren Gletscherloben mit einem moderaten Längen-Breiten-Verhältnis von ca. 1 : 1, wie es Abbildung 2 zeigt.

Die Aussage, dass vorrückende Gletscher sehr unterschiedliche Geschwindigkeiten aufweisen können und damit gegenüber ihrer Nachbarfront vorauseilen, ist trivial. Jede Randlagenkarte aus Vereisungsgebieten zeigt dies eindrücklich und erst recht die aktuogeologischen Befunde in rezent vergletscherten Gebieten. So weisen die Ausflussgletscher Antarktikas teilweise Geschwindigkeiten von mehr als 1 000 m/a auf und am Jakobshavn-Gletscher in Westgrönland wurden im Sommer 2012 sogar 46 m pro Tag (!) gemessen (Joughin et al. 2014). Eigene Untersuchungen am surgenden Penckbreen auf Spitzbergen (Stackebrandt et al. 1997) bestätigten eine einaktige kurzfristige Genese der durch den plötzlichen Gletschervorstoß geschaffenen vorgelagerten Stauchmoräne. Im Jahr 2016 kam es zu einem erneuten Surge des gleichen Gletschers, der sich mit 1 500–2 000 m/a vorschob (Strozzi et al. 2017). Doch auch hier war die Bewegung durch die Talflanken geschient. Der Gletscher hatte sich in wenigen hundert Jahren im Akkumulationsgebiet wieder aufgefüllt und hinzutretendes Schmelzwasser dann ein quasi-plastisches Gleiten ermöglicht, das zum erneuten Ausbrechen des Gletschers führte.

Wenn es solche Gletscherausbrüche auch am Außenrand großer Inlandeismassen gibt, müssen spezielle Rahmenbedingungen dies ermöglichen. Im Folgenden wird die Genese eines extrem langen und schmalen Zungenbeckens im Außenbereich der Weichselvereisung nördlich der Stadt Brandenburg an der Havel beschrieben: Das Marzahner Fenn. Es liegt nördlich der Stadt Brandenburg, ca. 8 km vom Brandenburger Dom entfernt. Wie es der Name verspricht, handelt es sich beim Fenn um ein Moor oder sumpfiges Gebiet, das jedoch bereits im ersten Weltkrieg durch russische Kriegsgefangene entwässert wurde (Russengraben, Infotafel am Wanderweg). Restliche Wasserflächen am NNE-Ende und eine durch Torfabbau neu entstandene erinnern an das vormalige Aussehen als seenerfüllte Senke. Das Marzahner Fenn wird auf drei Seiten von Moränenhügeln eingefasst (Abb. 3); nach NNE ist es offen.

Bei einer Länge von ca. 5 km ist es teilweise nur 600 m breit. Das vom Geologischen Dienst Brandenburg als Geotop erfasste Gletscherzungenbecken weicht damit sehr stark von den „normal“ entwickelten Loben Norddeutschlands ab, die meist ein vergleichbares Breiten- und Vorstoßverhältnis aufweisen (s. o.). Dieses ausgewogene Vorstoß-Breitenverhältnis weist auch der sehr intensiv untersuchte Muskauer Faltenbogen im Altmoränengebiet auf, für den Kupetz & Kupetz (2009) eine Grundbruchgenese annehmen, bei der der Falten- und Schuppenbau größtenteils eisauflastbedingt entsteht. Für weitere glazialtektonische Großstrukturen Brandenburgs vermutet Kupetz (2015) eine vergleichbare Genese.

Abweichend davon verlangt das langgestreckte Gletscherbett des Marzahner Fenns für seine Genese eine Erklärung, warum es sich gerade hier im Nahbereich der Maximalausdehnung der Weichselvereisung so ausbilden konnte. Hierfür dürfte das Schmelzwasser die wichtigste Rolle gespielt und dafür gesorgt haben, dass der Gletscher soweit vorstoßen respective ausbrechen konnte. Am Außenrand einer Inlandeiskappe ist im Sommerhalbjahr generell mit hohem Schmelzwasseraufkommen zu rechnen. Dieses gelangt

Abb. 1:
Das Marzahner Fenn im Norden der Stadt Brandenburg an der Havel, Kartenausschnitt aus TK 250, LGB Brandenburg, 2015; Abstand Gitternetzlinien 10 km

Fig. 1:
The Marzahne Fenn in the north of the city of Brandenburg an der Havel, map section from TK 250, LGB Brandenburg, 2015; Distance grid lines correspond to 10 km

über dort häufig vorkommende Spaltensysteme an die Basis des Eises und kann so für basale Entkoppelung und innerhalb des Eiskörpers für plastisches Gleiten sorgen. Die durch das Schmelzwasser in den basalen Gletscherbereich eingetragene Wärme forciert diese Entwicklung. Die Nachbarpartien der Gletscherfront müssen dagegen wesentlich trockener gewesen sein. Sie haben die Entwicklung zu temperierten Gletschern vermutlich nicht vollzogen.

In glazialtektonisch deformierten Strukturen gestatten hochauflösende Oberflächenabbildungen auch Aussagen zum Internbau, wie das in der morphotektonischen Gestaltung des Schwarzen Berges an der SW-Flanke des Marzahner Fenns sichtbar wird (s. Abb. 4).

An der nordwestlichen Randpartie des Fenns werden diese Strukturen durch steil nach SE einfallende Schuppen im Dekameter- bis Meterbereich mit NW-Vergenz begleitet, die in einer Sandgrube im Eichberg aufgeschlossen sind (Abb. 5).

Das im Laserscanbild und aus Geländebefunden ableitbare Struktureninventar belegt eine SSW-vergente Faltung und/oder Schuppung vor der Gletscherstirn im Bereich des Schwarzen Berges. Sie entsprechen der Hauptbewegungsrichtung des vorstoßenden Gletschers. Durch die Schleppung an den Stirnrändern entsteht dort ein bogiger Verlauf. Das Zungenbecken schnitt in eine bereits bestehende weichselglaziale Landschaft ein. Eine glazifluviatile Vorprägung als Tal ist sehr wahrscheinlich. Die dadurch geschaffene verbesserte Wegsamkeit beförderte nicht nur die lokale Entwicklung zu einem temperierten Gletscher, sondern in Verbindung mit dem Schmelzwasser auch seine Entkopplung vom Untergrund. Der primäre Eisaußenrand des Brandenburger Stadiums lag noch jenseits der Stadt Brandenburg im Bereich der Karower Platte. Inwieweit auch Hindernisstauchungen für den Strukturbau des Schwarzen Berges mitverantwortlich sind, kann wegen fehlender Aufschlüsse nur vermutet werden. Sie finden sich jedoch im nordwestlichen Randbereich des Surges (s. u.).

Das lineare Gefügeinventar der Oberfläche des Schwarzen Berges geht vorwiegend auf alte Landnutzung (Wölbäcker), Erosionstälchen und militärische Aufgrabungen zurück. Dabei scheinen die Tälchen durch glaziale Störungen vorgezeichnet zu sein.

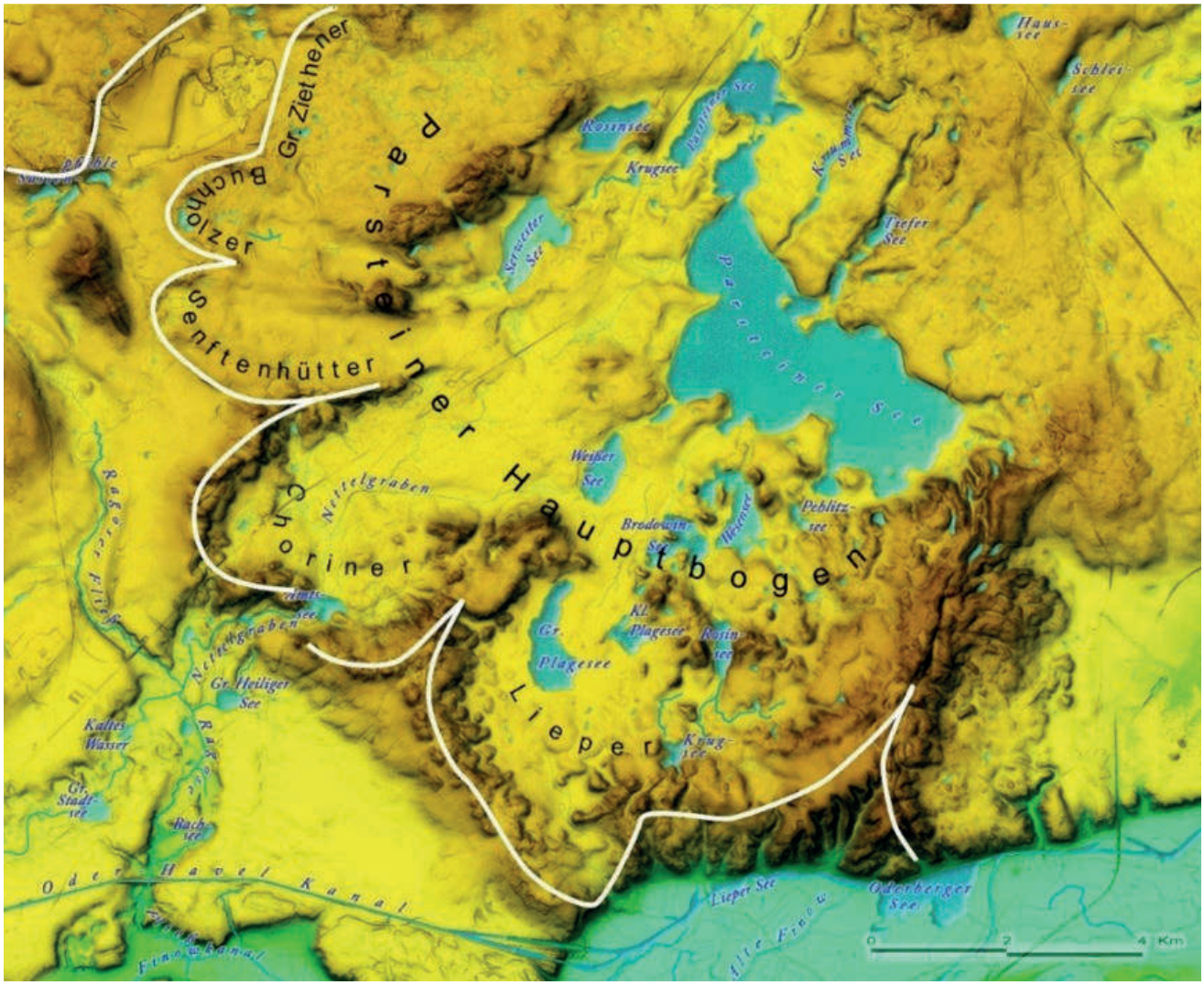


Abb. 2: Endmoränenloben des Parsteiner Hauptbogens der Pommerschen Eisrandlage (schematische Darstellung, aus: Schlaak 2020)
Fig. 2: End moraine levels of the Parstein main arc of the Pomeranian ice margin (schematic representation from: Schlaak 2020)

Auch diese Strukturen sind originär mit dem Surge verbunden. Ihre nach NE–SW rotierte Streichrichtung erklärt sich durch ihre randliche Position zur Hauptbewegungsrichtung des Vorstoßes, der hier zu rampenbedingten Aufschiebungen mit dextraler Lateralkomponente geführt haben und Ergebnis einer transpressiven Beanspruchung sind. Im hangenden Bereich gehen die Aufschiebungen zum Teil in Überschiebungen über. Die weiter nach NW folgenden Partien der Sandgrube bestehen ebenfalls aus Schmelzwassersanden; diese sind gegenüber dem näher an der Gletscherzunge gelegenen Areal mit Auf- und Überschiebungen jedoch wesentlich weniger intensiv deformiert.

Dagegen treten an der noch näher zum Zungenbecken gelegenen ESE-Wand der Grube steil einfallende Schuppen auf, die eine SSW-orientierte Kompression belegen und sich direkt auf die surgende Gletscherzunge beziehen lassen. Die Schuppenbasis verläuft etwa in Bildmitte der Abbildung 6. Unterhalb des Scherhorizonts dominiert in den Schmelzwassersanden eine WNW–ESE orientierte Klüftung. Vermutlich ist die Änderung des Deformationstyps mit einem Konsistenzwechsel verbunden (Wassersättigung/Auftaugrad).

Die Hügel auf der gegenüberliegenden SE-Flanke des Fenns sind nicht durch Aufschlüsse erschlossen. Aber sehenswert ist die noch immer vorhandene Steilheit des primären Eiskontakthangs. Die Niederung zwischen dem ebenfalls Eichberg genannten Hügel an der SE-Flanke des Fenns und dem Schwarzen Berg nahm vermutlich das Schmelzwasser auf und führte es in Richtung Beetzsee-Rinne ab.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass die Befunde für eine einaktige Entwicklung des Marzahner Fenns sprechen. Dabei kann es unterschiedliche Vorstoßgeschwindigkeiten gegeben haben, zumal sich der Surge über eine Reihe von Jahren entwickelt haben dürfte. Doch es gibt

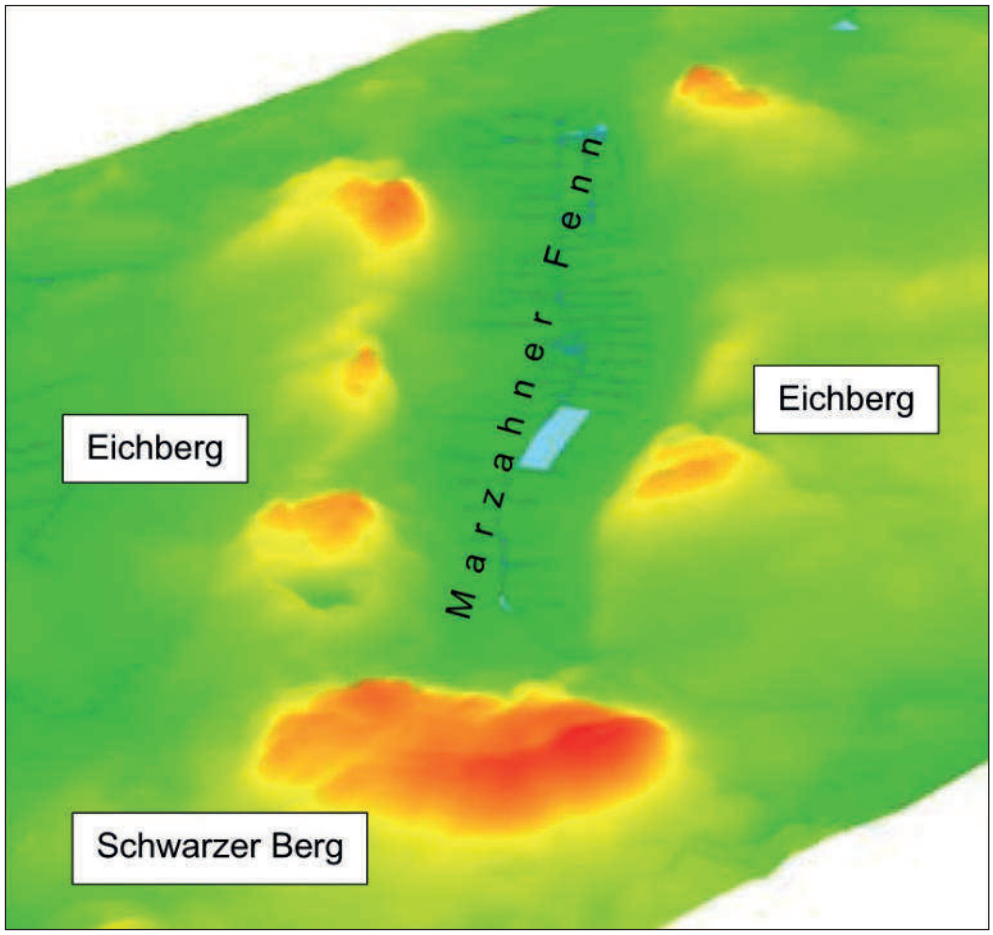


Abb. 3:
Das Gletscherzungenbecken des Marzahner Fenns im 3D-Bild (Schrägaufnahme), Blickrichtung nach NE, Längserstreckung des Tales ca. 5 km, im Vordergrund die Stauchmoräne Schwarzer Berg; Höhendifferenzierung von 29,3 m (grün) bis 89,8 m NHN (rotbraun) (DGM: Geobasisdaten © Geobasis DE/LGB 2024)

Fig. 3:
The glacier tongue basin of the Marzahne Fenn in 3D image (oblique image), looking NE, length of the valley approximately 5 km, in the foreground is the Schwarzer Berg moraine; height differentiation from 29.3 m (green) to 89.8 m above sea level (red-brown) (DTM: Geobasis data © Geobasis DE/LGB 2024)

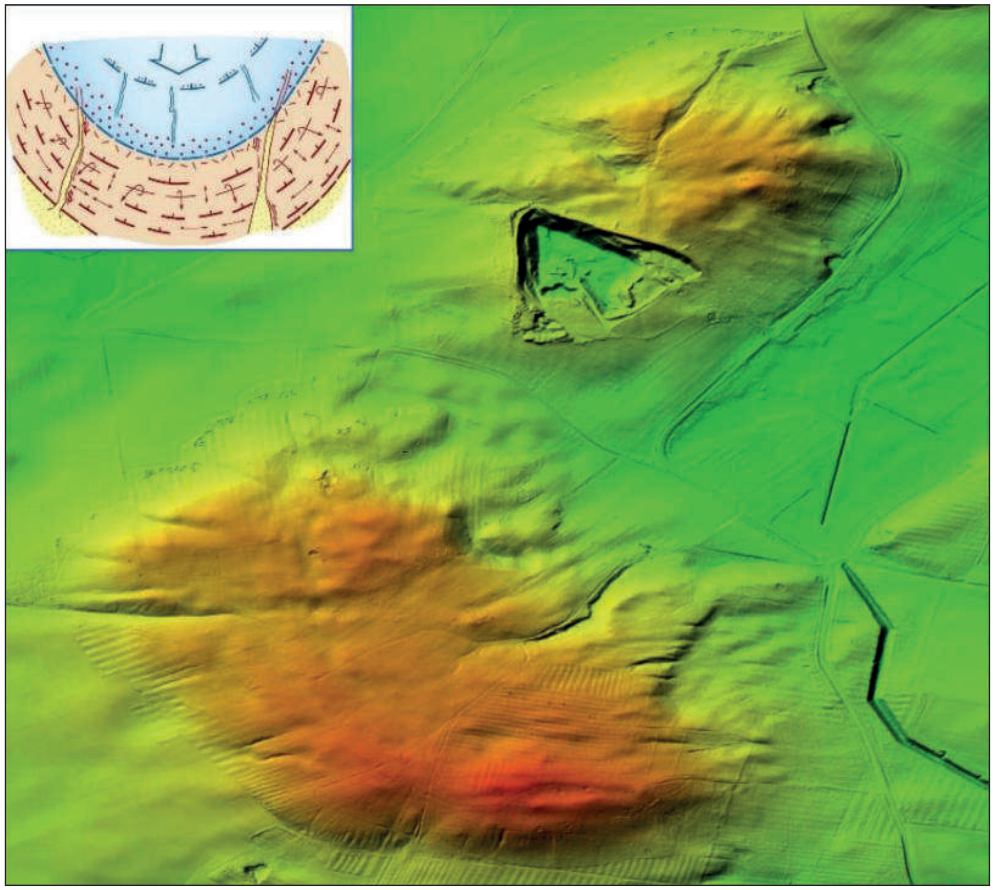


Abb. 4:
Die morphotektonische Gestaltung des Marzahner Fenns, SW-Teil, Schwarzer Berg und Eichberg (DGM: Geobasisdaten © Geobasis DE/LGB 2024); Inset-Karte aus Stackebrandt & Jany *(2003): Bildbreite 1,650 km; Höhendifferenzierung von 29,3 m (grün) bis 89,8 m NHN (rotbraun)*

Fig. 4:
The morphotectonic design of the Marzahne Fenn, SW-part, Schwarzer Berg and Eichberg (DTM: Geobasisdaten © Geobasis DE/LGB 2024); inset-map from Stackebrandt & Jany *(2003): Image width 1.650 km; height differentiation from 29.3 m (green) to 89.8 m above sea level (red-brown)*

Abb. 5:
NW-vergente Rampentektonik in der Nordwand der Sandgrube des Eichbergs; Wandhöhe ca. 5,5 m (Foto: Stackebrandt 03/2024)

Fig. 5:
NW-vergent ramp tectonics in the north face of the Eichberg sand pit; Wall height approx. 5.5 m (photo: Stackebrandt 03/2024)

Abb. 6: Schuppenbau an der ESE-Wand der Sandgrube des Eichbergs (Aufschlusshöhe in Bildmitte oberhalb Scherhorizont 3,5 m)
Fig. 6: Shed construction on the ESE wall of the Eichberg sand pit (Outcrop height in center of image above shear horizon 3,5 m)

keine Argumente für einen Aufbau des überlangen Gletscherzungenbeckens durch mehrere selbständige Surges, die sich von S nach N verlängerten, wie von Weisse (2003) angenommen. Das Marzahner Fenn entspricht damit der durch einen lokal temperierten Gletscher ausgestalteten Gleitbahn des vorstoßenden Eises, das auch für die Genese des Falten- und Schuppenbaus an seiner Stirn und für die Rampenaufschiebungen an den Flanken verantwortlich ist. Eine Vorprägung des Marzahner Fenns als glazifluviatil angelegte Talung – möglicherweise auch subglazial – ist sehr wahrscheinlich. Die glazitektonischen Deformationen im Stirn- und Flankenbereich sind jedoch an den aus NNE vorstoßenden Surge gebunden.

Danksagung

Der Frischbeton Brandenburg/H. GmbH & Co. KG danke ich für die Betretungserlaubnis für die Sandgrube, der Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg (LGB) für die Bereitstellung der DGM-Daten und schließlich den Begutachtern Dr. J. Strahl und Dr. O. Juschus für konstruktive Hinweise sowie Frau Sophia Rütters für die Unterstützung bei der Kartenerstellung.

Zusammenfassung

Das ungewöhnlich schmale und langgestreckte Gletscherzungenbecken des Marzahner Fenns ist das Ergebnis eines temperierten Surges am Außenrand des schmelzwasserreichen weichselzeitlichen Inlandeises.

Abstract

The unusually narrow and elongated glacier tongue basin of the Marzahne Fenn is the result of a temperate surge on the outer edge of the meltwater-rich Weichselian ice sheet.

Literatur

Hermsdorf, N. (2005): Geologische Übersichtskarte 1 : 100 000, Landkreis Potsdam-Mittelmark, Kreisfreie Stadt Potsdam, Kreisfreie Stadt Brandenburg an der Havel.– Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, Kleinmachnow

Joughin, L., Smith, B. I., Shean, D. E. & D. Floricioiu (2014): Brief Communication: Further summer speedup of Jakobshavn Isbræ.– The Cryosphere **8**, S. 209–214, www.the-cryosphere.net/8/209/2014/, doi:10.5194/tc-8-209-2014

Kupetz, A. & M. Kupetz (2009): Der Muskauer Faltenbogen. – Wanderungen in die Erdgeschichte **24**, S. 1–224, München (Pfeil)

Kupetz, M. (2015): Glazialtektonik.– In: Stackebrandt, W. & D. Franke (2015): Geologie von Brandenburg.– S. 490–499, Stuttgart (Schweizerbart)

LGB (Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg) (2015): Topographische Landeskarte 1 : 250 000, Potsdam

Schlaak, N. (2020): Eiszeitliche Genese und Bildungen des Endmoränenbogens.– In: Lutze, G. & H.-J. Pohle (2020): Der Chorin-Parsteiner Endmoränenbogen und das Becken des Parsteiner Sees.– Entdeckungen entlang der Märkischen Eiszeitstraße **22** (2019), S. 20–31

Stackebrandt, W. & S. Jany (2003): Airborne laserscanninng für geologische Detailuntersuchungen und Abwehr bergbaubedingter Gefahren im Muskauer Faltenbogen, Südost-Brandenburg.– Brandenburg. Geowiss. Beitr. **10**, 1/2, S. 1–6

Stackebrandt, W., Thiedig, F., Thieke, H. U. & N. Hermsdorf (1997): Glazialdynamik und Moränengenese – aktuogeologische Beobachtungen in Spitzbergen (Svalbard).– Brandenburg. Geowiss. Beitr. **4**, 1, S. 31–48

Strozzi, T., Paul, F., Wiesmann, A., Schellenberger, T. & A. Kääb (2017): Circum-Arctic Changes in the Flow of Glaciers and Ice Caps from Satellite SAR Data between the 1990s and 2017.– **Remote Sens. *9***, S. 947, https://doi.org/10.3390/rs9090947

Weisse, R. (2003): Beiträge zur weichselkaltzeitlichen Morphogenese des Elbhavelwinkels.– Brandenb. Umwelt Berichte **14**, 112 S.

Anschrift des Autors:

Dr. Werner Stackebrandt
Gersthofweg 13
14469 Potsdam
geostacke@gmail.com

PROJEKTE IM LBGR

Brandenburg. Geowiss. Beitr.	Cottbus	Bd. 32/2025	S. 131–133	1 Abb., 5 Lit.

KIMoDIs – KI-basiertes Monitoring-, Datenmanagement- und Informationssystem zur gekoppelten Vorhersage und Frühwarnung vor Grundwasserniedrigständen und -versalzung

Tobias Recke, Maria Wetzel & Angela Hermsdorf

Motivation und allgemeine Projektziele von KIMoDIs

Der Klimawandel hat unmittelbare Auswirkungen auf die Grundwasserressourcen, insbesondere in Brandenburg, einer der niederschlagsärmsten Regionen Deutschlands. Steigende Temperaturen und veränderte Niederschlagsmuster können zu sinkenden Grundwasserspiegeln führen. Dieser Effekt wird durch einen voraussichtlich steigenden Wasserbedarf verstärkt und kann lokale Nutzungskonflikte verschärfen. In einigen Gebieten Brandenburgs besteht zudem die Möglichkeit einer zunehmenden Grundwasserversalzung durch den Aufstieg geogen-salinarer Tiefenwässer.

Um eine nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung sicherzustellen, soll im Projekt KIMoDIs ein KI-gestütztes Monitoring-, Datenmanagement- und Informationssystem entwickelt werden. Dieses System kann dann mithilfe von KI-Modellen Grundwasserstände kurzfristig (saisonal), mittelfristig (dekadisch) und langfristig bis zum Jahr 2100 für eine Bandbreite an Klima- und Nutzungsszenarien vorhersagen und frühzeitig vor Grundwasserniedrigständen warnen. In von Grundwasserversalzung besonders gefährdeten Gebieten soll, abhängig von der Verfügbarkeit belastbarer Daten, außerdem eine gekoppelte Vorhersage von Grundwasserständen und -versalzung erfolgen. Der Ansatz integriert alle verfügbaren Daten des klassischen Monitorings an Grundwassermessstellen sowie Bewirtschaftungsdaten der Wasserversorger und verschiedene im Projekt neu erarbeitete Datenprodukte aus den Bereichen Klima, Wasserhaushalt und Fernerkundung.

Der Ansatz wird überregional im Bundesland Brandenburg sowie auf lokaler Ebene in den Pilotgebieten Langeoog, Ristedt, Potsdam und dem West-Hümmling erprobt. Dies ermöglicht eine skalenübergreifende Analyse und die Übertragbarkeit auf weitere Regionen.

Das im Projekt KIMoDIs entwickelte Entscheidungshilfe-Tool richtet sich an Behörden, Wasserversorger sowie die Land- und Forstwirtschaft. Geplant ist standortspezifisch eine Bandbreite an Klima- und Nutzungsszenarien zu visualisieren und damit eine intelligente Planung von Gegenmaßnahmen zu ermöglichen, um zu einem nachhaltigen, zukunftsorientierten Grundwassermanagement beizutragen.

Projektlaufzeit und -teilnehmer

Das Forschungsprojekt KIMoDIs ist ein vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördertes Verbundprojekt im Rahmen der Fördermaßnahme „Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung“ und hat eine Laufzeit vom 1. März 2023 bis zum 28. Februar 2026. Beteiligt sind insgesamt neun Partnerinstitutionen: Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), das Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU), das Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR), die Technische Universität München (TUM), das Karlsruher Institut für Technologie (KIT), die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), der Deutsche Wetterdienst (DWD), das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen (LBEG) und die Mapular UG.

LBGR-Aktivitäten

Die frühzeitige Erkennung von Veränderungen in der Grundwasserqualität ist entscheidend für eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wasserressourcen. Im Rahmen von KIMoDIs analysiert das LBGR die Grundwasserversalzung in Brandenburg. Es untersucht sowohl geogene als auch anthropogene Einflussfaktoren und analysiert umfangreiche Datensätze aus verschiedenen Messprogrammen.

Als Staatlicher Geologischer Dienst betreibt das LBGR ein Salinarmessnetz zur Überwachung versalzungsgefährdeter Gebiete. Seit 2007 werden im Rahmen eines regelmäßigen Messprogramms Grundwasserproben entnommen. Im Jahr 2016 wurde das Messnetz durch den Einbau von 12 Datenloggern erweitert, die kontinuierliche Messungen von elektrischer Leitfähigkeit, Temperatur und Wasserstand ermöglichen. Auf Grundlage des Brandenburgischen Wassergesetzes ist das LBGR zudem an wasserrechtlichen Genehmigungsverfahren beteiligt und führt hydrogeoche-

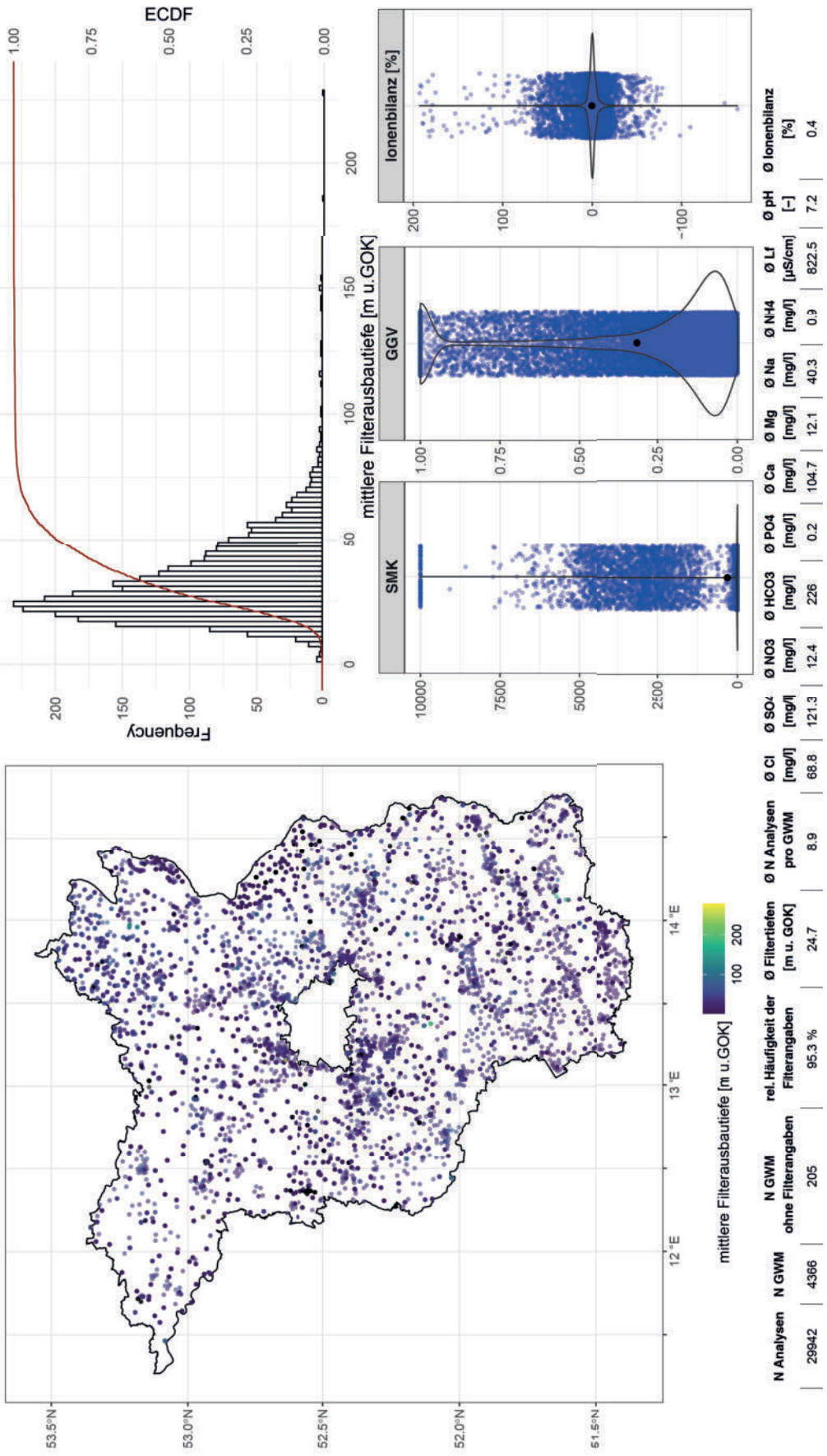


Abb. 1: Übersicht der räumlichen Verteilung der GWM (links) sowie eine Auswahl an statistischen Kennwerten der GWM und Grundwasseranalysen mit genetischer Bewertung als Histogramm, Violinplots und Tabelle

misch-genetische Bewertungen auch von externen Grundwasseranalysen im Rahmen seiner amtlichen Aufgaben durch. Die daraus gewonnenen Daten liefern wichtige Erkenntnisse über Prozesse und Zustände im Grundwassersystem. Das LfU Brandenburg ist als Wasserwirtschaftsamt für die gesetzliche Grundwasserüberwachung zuständig und betreibt seit den 1990er Jahren ein Landesmessnetz, das der langfristigen Dokumentation von Veränderungen sowie der Identifikation potenzieller Risikogebiete dient (MLUK 2020).

Zur differenzierten Bewertung der hydrogeochemischen Prozesse in Brandenburg wurden die Datenbestände des LBGR und des LfU systematisch aufbereitet und anschließend mithilfe der Software GEBAH (Rechlin 2010, Brose 2017) analysiert. Dabei wurden insgesamt 6 285 Analysen des LBGR von 3 375 Grundwassermessstellen (GWM) sowie 23 487 Analysen von 1 004 GWM des LfU genetisch bewertet (s. Abb. 1), um Erkenntnisse über die langfristige Entwicklung der Wasserqualität, den geologischen Aufbau des Untergrunds sowie salinare Prozesse zu gewinnen. Darüber hinaus wurde die Datenanalyse durch die Verknüpfung von räumlichen Informationen aus geologischen und hydrogeochemischen Themenkarten des LBGR erweitert. Verwendet wurden hierfür unter anderem Salinarstrukturen, hydrochemische Geneseklassen und Bruchstörungen im Zechstein. Zusätzlich wurden die Quartärbasis-Karte und die Rupeloberfläche miteinander verschnitten, um potenzielle Rupelschwächezonen und Rupelfehlstellen zu berücksichtigen.

Auf Grundlage der Geoanalyse wurden vier fachlich geeignete GWM für die gezielte Erweiterung des Salinarmessnetzes bestimmt, die im Rahmen des Forschungsprojektes mit moderner Datenloggertechnik ausgestattet werden. Die Messnetzerweiterung ermöglicht eine präzisere Überwachung versalzungsgefährdeter Gebiete und kann künftig die Modellierung für die Vorhersage von Grundwasserständen und -versalzung verbessern.

Geplante Aufgaben des LBGR

Im weiteren Projektverlauf konzentrieren sich die Arbeiten des LBGR auf den Ausbau einer bidirektionalen Datenanbindung für das Salinarmessnetz sowie auf die Prüfung und gegebenenfalls fachliche Optimierung der Messnetze unter Einbeziehung der im Projekt entwickelten Vorhersagemodelle. Darüber hinaus bringt das LBGR seine fachliche Perspektive in die Auswahl und Bewertung relevanter Nutzungsszenarien ein.

Diese Arbeiten bilden die Grundlage für eine präzisere Vorhersage und die Entwicklung angepasster Strategien im Grundwassermanagement. Sie unterstützen zudem die Integration relevanter Mess- und Modelldaten in das Entscheidungshilfe-Tool und die Weiterentwicklung des Salinarmessnetzes.

Unser besonderer Dank gilt dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), das im Rahmen der Fördermaßnahme „Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung“ das Projekt KIMoDIs fördert.

Literatur:

Brose, D. (2017): GEBAH – Eine Software für die konzentrationsunabhängige Früherkennung von Salzwasserintrusionen in Süßwasser führende Grundwasserleiter und Oberflächengewässer. – Brandenburg. geowiss. Beitr. **24**, 1/2, S. 69–82

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg (MLUK) (2020): Bericht zur Grundwasserbeschaffenheit im Land Brandenburg 2013–2018. – 109 S., Potsdam

Rechlin, B. (1997): Zur Anwendung des Hydrogeochemischen Genesemodells der Wässer in den GWLK des Landes Brandenburg. – Brandenburg. geowiss. Beitr. **24**, 1, S. 67–71

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

Rechlin, B., Hoffknecht, A., Scholz, H. & A. Helms (2010): Genetische Bewertung von Analysen der Hydrosphäre. – Software GEBAH Vers.1.1, LBGR/GCI, Cottbus, Königs Wusterhausen

Anschriften der Autoren:

Tobias Recke
Landesamt für Bergbau, Geologie
und Rohstoffe Brandenburg
Inselstraße 26
03046 Cottbus

Maria Wetzel
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
Wilhelmstraße 26
13593 Berlin

Angela Hermsdorf
Landesamt für Umwelt Brandenburg
Postbox 601061
14410 Potsdam, OT Groß Glienicke
Wilhelmstraße 26
13593 Berlin

Aus den laufenden Arbeiten des Bergamtes:
Luftbildaufnahme des Tontagebaus Marienthal-Trottheide
(Foto: LBGR 12.08.2025)
(Aus dem Landesamt, Beitrag Fritze, Donke & Meyer
in diesem Band)

Brandenburg. Geowiss. Beitr.	Cottbus	Bd. 32/2025	S. 135–137	2 Abb.

Salzwasserintrusion im Trinkwasserentnahmegebiet Sekær

Nils Bischoff, Søren Tygesen & Iben Kirchberg Nilsson

Der dänische Versorger DIN Forsyning hat eine große Grundwassergewinnung im Inland von Jütland. Fernab der Einwirkung von Salzwasser der Nordsee wurden erhöhte Salzgehalte in zwei von zehn Brunnen festgestellt. Diese unerwarteten Ergebnisse werfen Fragen zu den geologischen Bedingungen und zur Qualität des geförderten Wassers auf und erfordern eine technische Analyse der Situation.

Die zehn Brunnen sind ursprünglich so platziert, dass die Grundwasserentnahme aus einer geologischen Rinne erfolgt. Diese Rinne wurde mittels Bohrungen, TEM (Transient Electromagnetic Method) und Seismik auskartiert und in das dänische geologische FOHM-Modell eingearbeitet (Abb. 1). Im FOHM-Modell sind alle existierenden geologischen Modelle zusammengeführt, die regelmäßig aktualisiert werden, sobald der Geologische Dienst neue Änderungen gutheißt.

Die Brunnen sind mehrfach verfiltert. Der Brunnen 123.1050 hat seine tiefste Filterlage bei 100 m unter GOK, der Brunnen 123.1046 bei 130 m unter GOK. Seit der Inbetriebnahme des Entnahmegebietes sind steigende Chlorid-Gehalte bis zu 300 mg/l an diesen Brunnen zu verzeichnen. Im Gegensatz dazu bleibt der Salzgehalt des oberen Filters des Brunnens 123.1046 konstant bei etwa 28 mg/l.

Diese Beobachtungen widersprechen den Erwartungen basierend auf dem geologischen Modell. Um die Anomalien zu verstehen, wurden mehrere neue Untersuchungen durchgeführt:

- Pumpversuche,
- geophysikalische Untersuchungen und
- hydrogeochemisch-genetische Bewertung mit GEBAH.

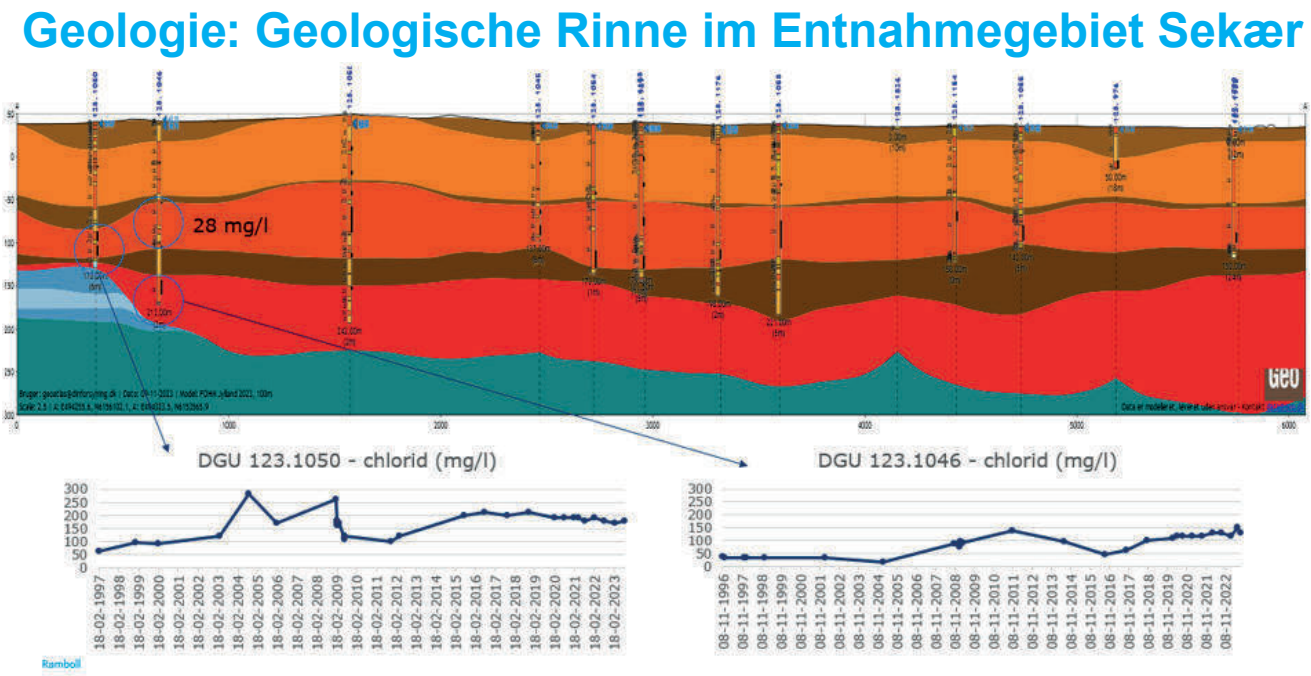


Abb. 1: Geologischer Schnitt durch das Entnahmegebiet Sekær. Die rötlichen und die hellblauen Schichten sind sandige Schichten, die braunen Schichten sind Geschiebemergel und die dunkelblauen und grünen Schichten Tonschichten aus dem Miozän. Darüber hinaus ist die Chlorid-Entwicklung in den Brunnen 123.1046 und 123.1050 dargestellt.

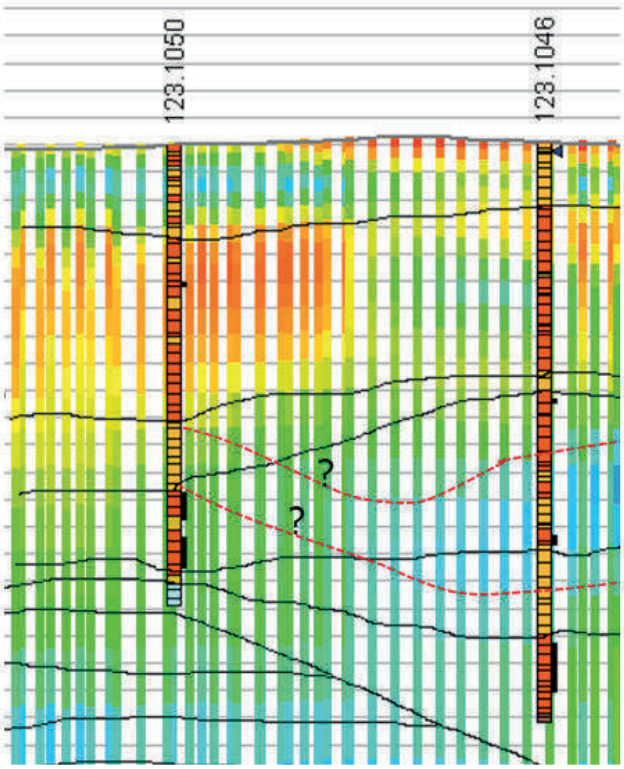


Abb. 2:
Resultate der geophysikalischen Untersuchung. Rote Felder zeigen sandige Schichten, bläuliche Felder bindige Schichten. Grüne Felder enthalten Schichten mit variierendem Gehalt von Sand und Ton. Die Positionen der Brunnen 123.1046 und 123.1050 sind ebenfalls dargestellt.

Die Pumpversuche in verschiedenen Brunnen und unterschiedlichen Filtertiefen zeigten, dass die tiefsten Filter der Brunnen 123.1046 und 123.1050 momentan auf die Absenkungen des jeweils anderen Brunnens reagieren. Dies deutet darauf hin, dass ein sehr guter Kontakt zwischen diesen Filtern bestehen muss, was dem geologischen Modell widerspricht, das eine deutliche Trennung zwischen dem zweiten und dritten Grundwasserleiter zeigt.

Die anderen Brunnen, die in den zwei obersten Grundwasserleitern verfiltert sind, reagierten auf die verschiedenen Pumpversuche gemäß den Erwartungen an das geologische Modell.

Im Rahmen einer größeren Grundwasseruntersuchung wurde eine geophysikalische SkyTEM-Untersuchung im Einzugsgebiet Sekær durchgeführt, um die elektrischen Widerstände in den tieferen Schichten bis zu 300 m Tiefe zu kartieren (Abb. 2).

Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen eine gute Übereinstimmung mit der Geologie der oberen Grundwasserleiter. Leichte Anomalien können in den tieferen Schichten erkannt werden, wobei die Widerstände in den tieferen sandigen Schichten etwas zu hoch sind.

Die Auswertung der hydrochemischen Analysen mit GEBAH zeigte ein sehr ähnliches Bild für die tiefen Filter der Brunnen 123.1046 und 123.1050. Allerdings wies der zweittiefste Filter des Brunnens 123.1046, der gemäß dem geologischen Modell im gleichen Grundwasserleiter liegt, eine sehr unterschiedliche Grundwassergenese auf.

Durch die Kombination der Pumpversuche, der mit GEBAH ausgewerteten hydrochemischen Analysen und teilweise der Geophysik wurde das geologische Modell revidiert und in Form eines Dichte- und Strömungsmodells (FEFLOW) neu dargestellt. Mit diesem Modell konnte der hydrochemische Hintergrund modelliert werden, jedoch konnten die Änderungen im Chlorid-Gehalt über den gezeigten kurzen Zeitraum (Abb. 1) nicht korrekt simuliert werden.

Ein erneuter Blick auf die geophysikalische Untersuchung (Abb. 2) zeigte, dass in einer Tiefe von 100 m eine Sandschicht erwartet wurde, die jedoch nicht deutlich hervortrat. Die Widerstandswerte waren zu gering, um ein Sandvorkommen bestimmen zu können. Diese Diskrepanz könnte durch einen Zustrom von Chlorid-haltigem Wasser aus dem Miozän erklärt werden. Die miozänen Sandschichten in dieser Gegend haben sehr hohe Chlorid-Konzentrationen, weil es naheliegende Salzstöcke gibt.

Im geologischen Modell, dass für das Grundwassermodell angewandt wurde, gibt es unmittelbar nördlich des Entnahmegebiets eine miozäne Sandschicht mit hohem Chlorid-Gehalt, die durch eine dünne Tonschicht von der quartären Rinne getrennt ist. Diese Tonschicht ist lediglich durch eine nahegelegene Bohrung und zwei weiter entfernte Bohrungen belegt. Die Deutung dieser Tonschicht in 100 m Tiefe ist daher sehr unsicher. Zusammen mit dem Kunden und dem Geologischen Dienst wurde die dünne, trennende Tonschicht mit weniger als 3 m Mächtigkeit aus dem geologischen Modell entfernt.

Durch die Beseitigung dieser geologischen Diskrepanz mit Hilfe der Kombination geophysikalischer Daten und der Auswertung hydrochemischer Analysen mit der Software GEBAH konnte die Anomalie des Chlorid-Gehaltes im Entnahmegebiet Sekær endlich beschrieben werden.

Die Anpassungen im geologischen Modell und die Untersuchungsergebnisse wurden in das ursprüngliche FOHM-Modell integriert, nachdem der Geologische Dienst mit den finalen Änderungen einverstanden war. Diese Änderungen bieten eine plausible Erklärung für die Salzwasserintrusion und erleichtern zukünftige Modellierungen und Prognosen.

Anschriften der Autoren:

Nils Bischoff
Ramboll, Aarhus
Olof Palmes Allé 20
DK - 8200 Aarhus N

Søren Tygesen
DIN Forsyning
Ulvsundvej 1
DK - 6715 Esbjerg N

Iben Kirchberg Nilsson
DIN Forsyning
Ulvsundvej 1
DK - 6715 Esbjerg N

Umzäunter Bohrlochkkopf der Geothermiebohrung Velten (Gt Vet 2/90) (Foto K. Sieron 11.02.2025) (Projekte, Beitrag Sieron et al. in diesem Band)

Brandenburg. Geowiss. Beitr.	Cottbus	Bd. 32/2025	S. 139–140	2 Abb.

Nutzung von hyperspektralen Fernerkundungsdaten der EnMAP Mission zur räumlichen Ableitung von Bodenparametern auf Ackerstandorten in Brandenburg

Judith Walter, Robert Milewski, Robert Skoruppa, Elena Tsutskikh, Sabine Chabrillat & Albrecht Bauriegel

Das Dezernat Bodengeologie am Landesamt für Berbau, Geologie und Rohstoffe (LBGR) arbeitet seit 2023 mit dem Geoforschungszentrum Potsdam (GFZ) an der Ableitung von Bodenparametern auf Ackerflächen aus hyperspektralen Fernerkundungsdaten der neuen EnMAP Mission. Im Fokus steht die Vorhersage verschiedener Bodeneigenschaften, insbesondere dem organischen Kohlenstoffgehalt (C_{org}) und der Textur (Gehalte an Sand, Schluff und Ton).

Im Rahmen der hyperspektralen Satellitenmission EnMAP wird der spektrale Bereich von 420–2 450 nm im sichtbaren bis nahen und kurzwelligen Infrarot in über 240 Bändern gemessen, welche die genaue Quantifizierung von Parametern im Oberboden zulässt. Dabei werden die spektralen Daten der Oberfläche mit einer Bodenauflösung von 30 x 30 m und einer räumlichen Abdeckung von 30 x 30 km erfasst. Damit bieten Fernerkundungsdaten sehr gute Voraussetzungen um aktuelle aber auch zukünftige Veränderungen (Monitoring) von Bodeneigenschaften nahe der Oberfläche räumlich zu detektieren und zu bewerten. Allerdings ist für die Ableitung von Bodeninformation aus einer spektralen Aufnahme unbedeckter Boden notwendig, der nur in kurzen Zeitfenstern vor und nach der Vegetationsperiode vorhanden ist. Zudem ist ein möglichst wolkenfreier Zustand notwendig um verwertbare spektrale Information zu erhalten. Es werden daher die Aufnahmen von unbedecktem Boden aus mehreren Jahren zu einem spektralen Komposit vereinigt mit dem Ziel eine möglichst hohe Abdeckung für die Ackerflächen in Brandenburg zu erhalten (Abb. 1).

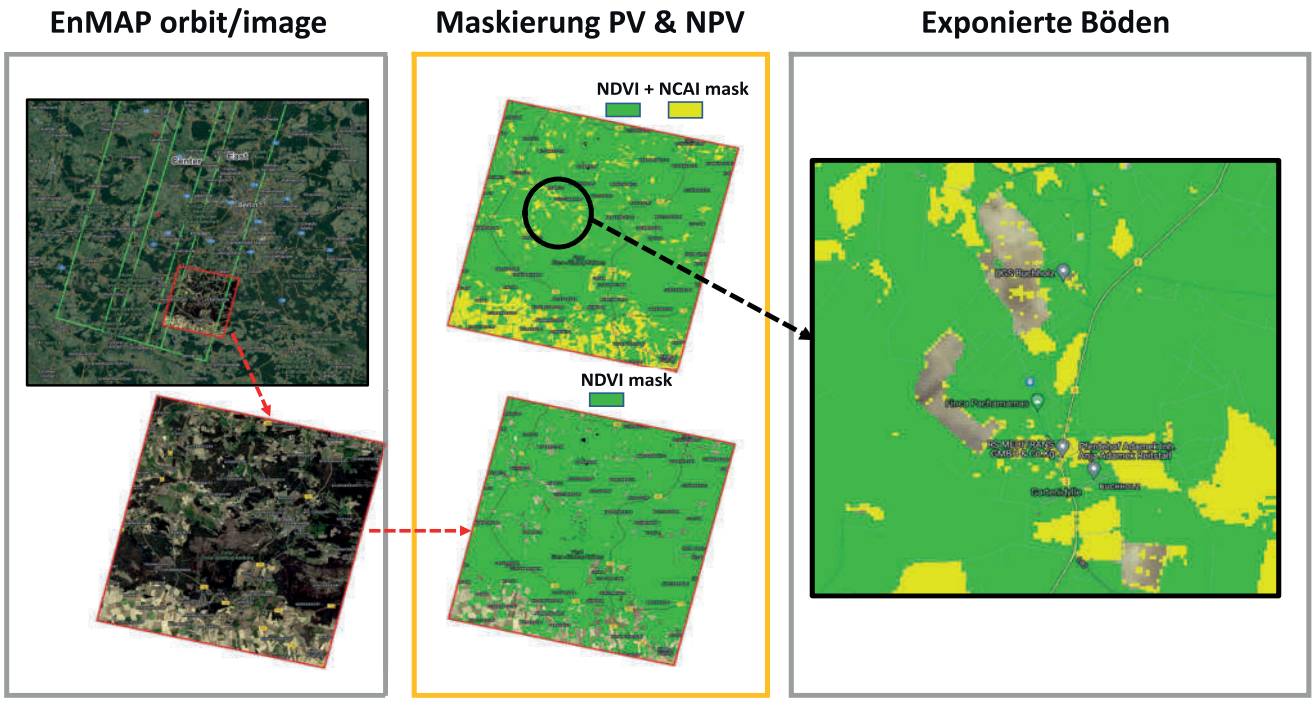


Abb. 1: Erfassung exponierter Böden durch Maskierung von photosynthetisch aktiver und inaktiver Vegetation mittels spektraler Indizes (z.B. NDVI)

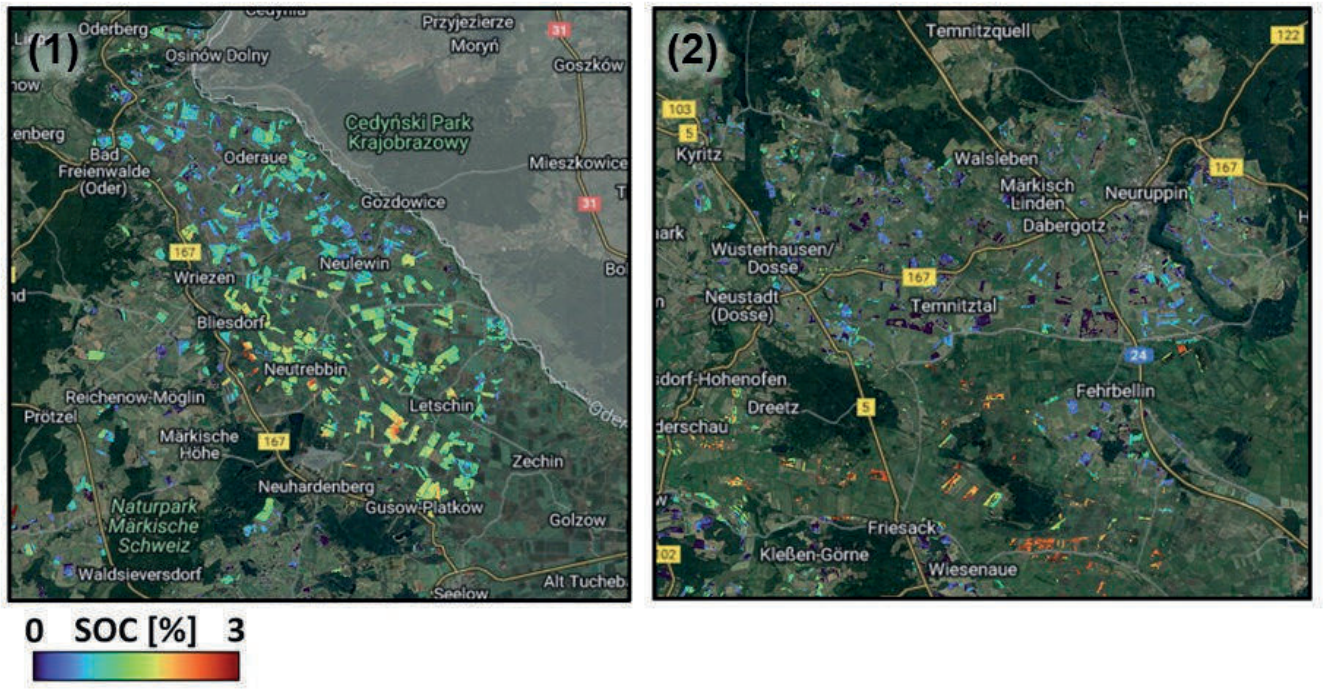


Abb. 2: Modellierte C_{org}-Gehalte (Soil Organic Carbon - SOC) des Oberbodens für die Beispielregion des nördlichen Oderbruchs (1) und der Prignitz (2)

Über Verfahren des maschinellen Lernens werden aus den erfassten spektralen Daten und den durch das Dezernat Bodengeologie zur Verfügung gestellten Ground Truth Daten (C_{org}, Textur) Modelle für die räumliche Vorhersage der Bodenparameter durch das GFZ entwickelt (Abb. 2). Erste Ergebnisse zeigen eine sehr hohe Vorhersagegüte für den C_{org}- (R^2 = 0,88, RMSE = 0,12) und den Tongehalt (R^2 = 0,75, RMSE = 1,77), etwas schlechter ist die Vorhersage für den Schluff- (R^2 = 0,46, RMSE = 13,44) und den Sandgehalt (R^2 = 0,64, RMSE = 12,24). Allerdings sind diese Ergebnisse mit einer bisher nur geringen Anzahl von tatsächlichen Analysedaten modelliert worden (n = 17), die sich aber in 2025 auf über 200 vergrößern wird.

Anschriften der Autoren:

Judith Walter
Robert Skoruppa
Elena Tsutskikh
Albrecht Bauriegel
Landesamt für Bergbau, Geologie
und Rohstoffe Brandenburg
Abteilung 2 – Geologischer Dienst
Inselstraße 26
03046 Cottbus

Robert Milewski
Sabine Chabrillat
Sektion Fernerkundung und Geoinformatik
Geoforschungszentrum (GFZ) Potsdam
Telegrafenberg
Wissenschaftspark Albert Einstein
14473 Potsdam

Brandenburg. Geowiss. Beitr.	Cottbus	Bd. 32/2025	S. 141–144	3 Abb., 9 Lit.

Bewertung der Bodenfruchtbarkeit und Kohlenstoffversorgung Brandenburger Böden

Robert Skoruppa, Judith Walter, Christian Lehr & Albrecht Bauriegel

Internationale Vereinbarungen wie das Pariser Klimaschutzabkommen verpflichten die Bundesrepublik Deutschland zur Verringerung von Treibhausgasemissionen. In Brandenburg wurde daraus das Ziel zur Erreichung der Klimaneutralität bis 2045 abgeleitet und mit einem Strategie- und Maßnahmenprogramm untersetzt, welches in verschiedene Handlungsfelder aufgefächert ist. Im Handlungsfeld Landwirtschaft setzt die Entwicklung von Maßnahmen und Förderprogrammen unter anderem Informationen zu Änderungen im Bodenkohlenstoffvorrat (C-Vorrat) voraus, da diese unmittelbar mit der Freisetzung oder Festlegung des Treibhausgases Kohlenstoffdioxid verbunden sind.

In diesem Rahmen beauftragte das Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz Brandenburg das Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe (LBGR) mit der Erhebung der Vorräte des organischen Kohlenstoffs in Mineralböden auf landwirtschaftlichen Flächen von Brandenburg. Ziel des Projekts „Bewertung der Bodenfruchtbarkeit und Kohlenstoffversorgung Brandenburger Böden“ ist die Bestandsaufnahme der C-Vorräte und die Erarbeitung von Karten zu dessen räumlicher Verteilung in mehreren Tiefenintervallen. Moorböden wurden dabei nicht berücksichtigt, da deren C-Vorräte bereits in einem früheren Projekt des LBGR erhoben wurden (Fell et al. 2015).

Das Projekt umfasst eine Beprobungskampagne mit 650 Standorten (Abb. 1), die nach einem stratifizierten designbasierten Verfahren ausgewählt wurden. Für die Stratifizierung wurden Umweltfaktoren ausgewählt, die sich auf Grundlage einer im Vorfeld durchgeführten Analyse der Brandenburger Bodenprofildatenbank als relevante Einflussgrößen auf den Kohlenstoffgehalt des Oberbodens ergeben haben. In der Beprobungskampagne wurde an jedem Standort 5 Schürfe angelegt (1 Zentralpunkt und 4 Satellitenpunkte in den Haupthimmelsrichtungen, s. Abb. 2) und bis zur Untergrenze der humosen Horizonte aufgegraben. Zusätzlich wurde an jedem Schurf eine Bohrstocksondierung bis in 1 m Tiefe durchgeführt. An den Profilanschnitten erfolgte eine Geländeansprache inklusive Schätzung des Skelettgehalts nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (AG Boden 2024). Die humosen Horizonte wurden volumengerecht beprobt und auf die Parameter Trockenrohdichte, pH, anorganischer und organischer Kohlenstoff sowie Gesamtstickstoff analysiert. Aus den Erhebungen wurde für jeden Standort der C-Vorrat in den vier Tiefenstufen 0–10, 0–30, 0–50 und 0–100 cm bestimmt.

Die räumliche Verteilung der C-Vorräte wurde mit Random Forest (Breiman 2001) in den vier Tiefenstufen in Abhängigkeit von einem umfassenden Set an Umweltvariablen modelliert. Dazu gehören

- das Digitale Geländemodell sowie daraus abgeleitete lokale und regionale geomorphometrische Parameter wie Hangneigung, Exposition und Bodenfeuchteindex, welche als Teil der Geomorphographischen Karte vom LBGR publiziert wurden,
- die aktuelle Landnutzung (Grünland oder Acker), entsprechend dem Digitalen Basislandschaftsmodell des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems (LGB 2024),
- die historische Landnutzung, welche aus dem Nutzungsmerkmal der Bodenschätzung abgeleitet wurde,
- die Bodenreflektanzkomposite, welche Informationen über die spektralen Eigenschaften der Bodenoberfläche enthalten und vom Deutschen Luft- und Raumfahrtzentrum basierend auf den Satellitenbildern der Sentinel-2-Mission zur Verfügung gestellt werden (Heiden, d’Angelo & Karlshoefer 2024),
- die Fruchtfolge, die aus den Agrarantragsdaten abgeleitet wurde, welche für die Agrarförderung der Gemeinsamen Agrarpolitik der Europäischen Union erhoben werden (LGB 2023),
- die Pedogenese, Geogenese und der Bodenartenschichttyp, welche Bestandteil der Konzeptbodenkarte des LBGR sind,
- die Erosionsgefährdungsklassifizierung und Bodenabtragsraten, welche aus den Bodenerosionskarten des LBGR entnommen wurden sowie
- Merkmale der Klassenflächen und beschreibenden Grablöcher der Bodenschätzung.

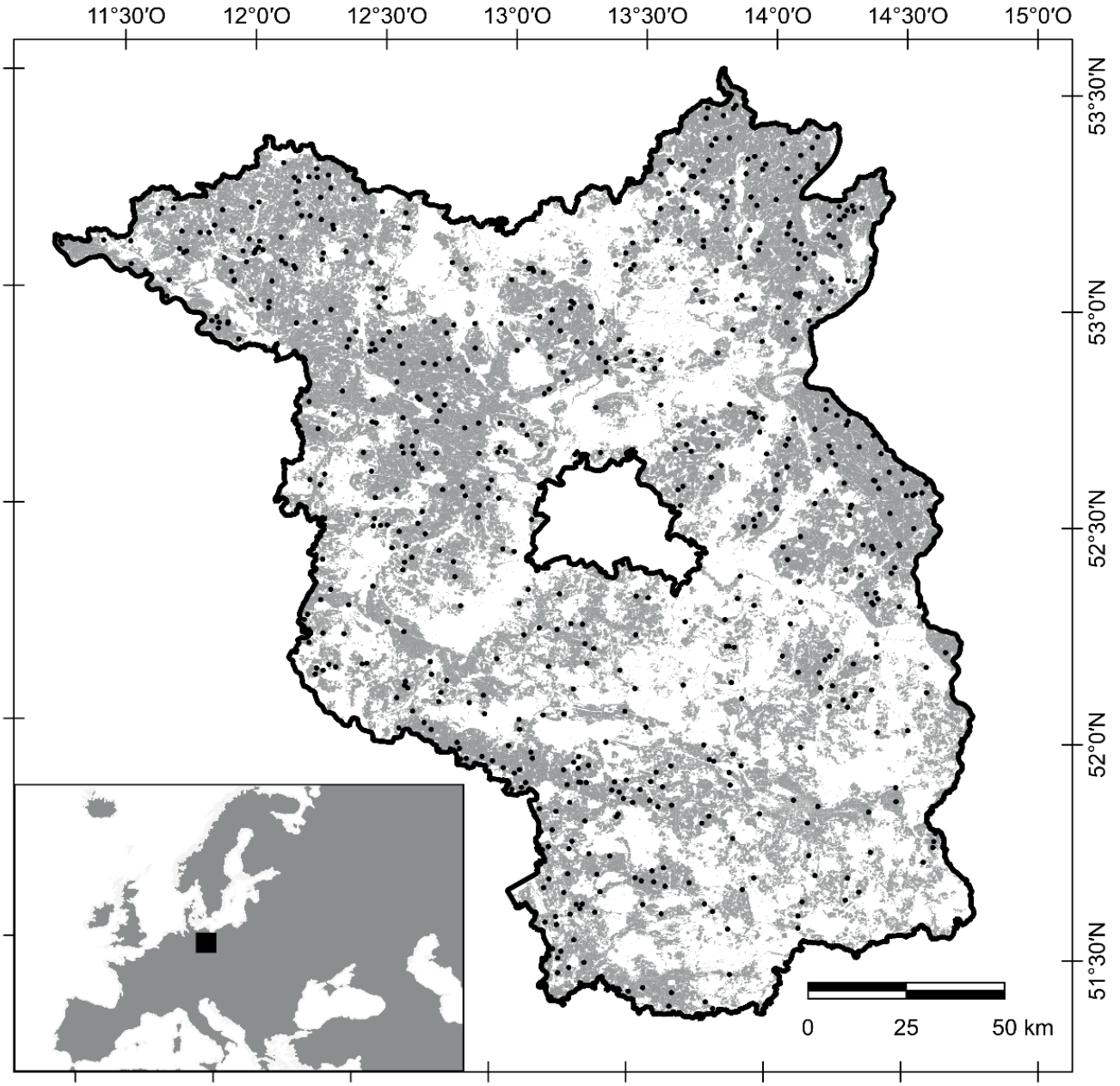


Abb. 1: Lage der 650 Standorte der Beprobungskampagne des Projekts (schwarze Punkte) sowie der Agrarflächen (graue Schattierung) in Brandenburg. Eingebettete Abbildung: Lage der Detailkarte (schwarzes Rechteck) in Europa (graue Schattierung). Externe Kartendaten von LGB (2024, 2025) und OSM (2025). Die Koordinaten sind im Koordinatenreferenzsystem mit EPSG-Code 4326 angegeben.

Die Modellgüte der vier Random-Forest-Modelle wurde mit den Out-Of-Bag-Daten validiert und daraus die Metriken Pseuo-R^2 (R^2) und Root Mean Square Error (RMSE) abgeleitet.

Vorläufige Ergebnisse sowie Prototypen der vier tiefenstufenbezogenen C-Vorratskarten wurden aus einer Teilmenge von 373 Standorten, für die bereits Laboranalyseergebnisse vorliegen, abgeleitet (Abb. 3). Diese Auswertungen zeigen, dass der C-Vorrat in der Tiefenstufe 0–100 cm im Mittel 6,5 kg m^{-2} beträgt und zwischen 1,4 und 27,3 kg m^{-2} variiert. Dies ist niedriger als der C-Vorrat von Mineralböden im gesamtdeutschen Durchschnitt (Jacobs et al. 2018). Bereits in früheren Studien wurde der niedrige C-Vorrat von Mineralböden der Bodenregion Jungmoränenlandschaften, die in großen Teilen mit der Landesfläche von Brandenburg überlappt, nachgewiesen (Jacobs et al. 2018). Böden mit hohen C-Vorräten befinden sich unter Grünland, auf grundwassernahen Standorten und in den Altauen der Flussniederungen (z. B. Oderbruch) während die Böden der Hochflächen unter Acker niedrige C-Vorräte aufweisen.

Die Modellgüte der vier Random-Forest-Modelle nimmt mit zunehmender Tiefenstufe ab. Die Metriken RMSE und R^2 liegen in der obersten Tiefenstufte (0–10 cm) bei 0,7 kg m^{-2} und 0,69 und in der untersten Tiefenstufe (0–100 cm) bei 3,0 kg m^{-2} und 0,53. Die Umweltvariablen mit der höchsten Variable Importance, einem Maß für den erklärenden Beitrag von Kovariablen in Random-Forest-Modellen (Breiman 2001), sind die Landnutzung, die Bodenreflektanzkomposite, die Geogenese der Konzeptbodenkarte und die Zustandsstufe der Bodenschätzung, unabhängig von der Tiefenstufe des Modells.

Die weiteren geplanten Arbeitspakete bis zum Abschluss des Projekts sind die Überarbeitung des Modellierungsansatzes zur Erhöhung der Modellgüte, die Aktualisierung der Prototypen der C-Vorratskarte mit dem Gesamtdatensatz der 650 Standorte sowie die Erarbeitung von Karten zur Vorhersageunsicherheit der C-Vorräte.

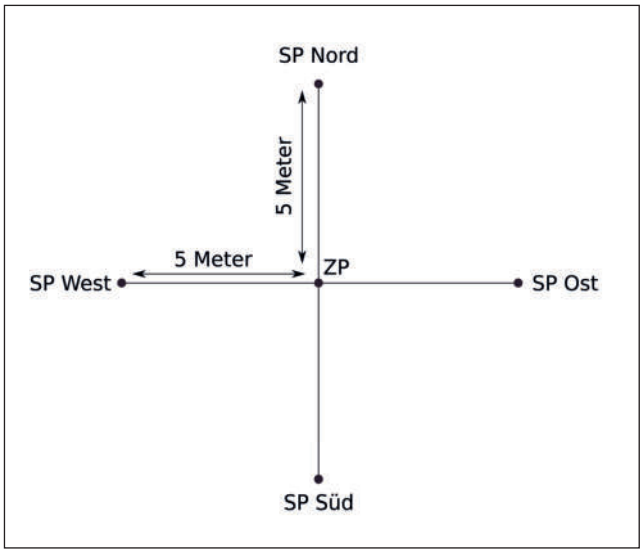


Abb. 2:
Schematische Darstellung der Anordnung der 5 Beprobungspunkte [1 Zentralpunkt (ZP) + 4 Satellitenpunkte (SP)] eines Standorts

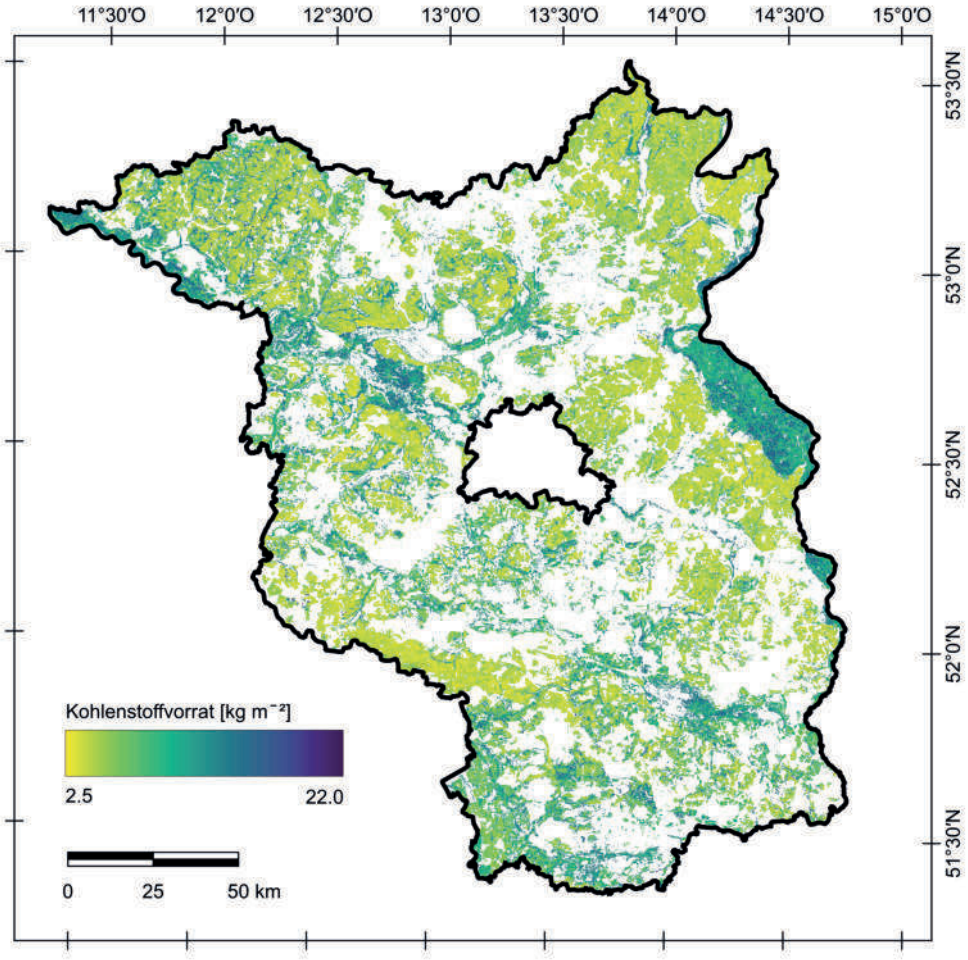


Abb. 3:
Räumliche Verteilung des C-Vorrats im Tiefenintervall 0–100 cm der Mineralböden auf landwirtschaftlichen Flächen in Brandenburg. Externe Kartendaten von LGB (2025). Die Koordinaten sind im Koordinatenreferenzsystem mit EPSG-Code 4326 angegeben.

Literatur:

AG Boden (2024): Bodenkundliche Kartieranleitung. – Bd. 2, 6. Aufl., 552, Stuttgart (Schweizerbart Science Publishers)

Breiman, L. (2001): Random Forests. – Machine Learning **45**, 1, S. 5–32

Fell, H., Rosskopf, N., Bauriegel, A., Hasch, B., Schimmelmann, M. & J. Zeitz (2015): Erstellung einer aktualisierten Moorkarte für das Land Brandenburg. – TELMA **45**, S. 75–104

Heiden, U., d'Angelo, P. & P. Karlshoefer (2024): SoilSuite – Sentinel-2 – Europe, 5 year composite (2018-2022). – URL https://geoservice.dlr.de/data-assets/qkud-8cudg596.html (Stand 29.03.2025), Lizenz: Creative Commons Attribution 4.0 International

Jacobs, A., Flessa, H., Don, A., Heidkamp, A., Prietz, R., Dechow, R., Gensior, A., Poeplau, C. et al. (2018): Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland - Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. – 284 S., Braunschweig (Johann Heinrich von Thünen-Institut)

Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg (LGB) (2023): Daten aus dem Agrarförderantrag, Agrarantragsdaten. – URL https://metaver.de/search/dls/?serviceId=CD558692-A468-486B-B5E6-98BDD707D87F (Stand 20.06.2023), Lizenz: © MLUK, dl-de/by-2-0, https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0

Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg (LGB) (2024): Objektart „AX_Landwirtschaft" des Basis Digitalen Landschaftsmodells des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems Brandenburg.– URL https://isk.geobasis-bb.de/ows/atkisbdlm_nas_wfs (Stand 01.06.2024), Lizenz: © GeoBasis-DE/LGB, dl-de/by-2-0, https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0

Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg (LGB) (2025): Layer „Fläche Brandenburg" aus Web Feature Service „Verwaltungsgrenzen Brandenburg mit Berlin". – URL https://isk.geobasis-bb.de/ows/vg_wfs (Stand 28.03.2025), Lizenz: © GeoBasis-DE/LGB, dl-de/by-2-0, https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0

OpenStreetMap (OSM) (2025): Land polygons, Large simplified polygons not split, use for zoom level 0-9. – URL https://osmdata.openstreetmap.de/data/land-polygons.html (Stand 18.03.2025), Lizenz: © OpenStreetMap contributors, https://www.openstreetmap.org/copyright

Anschriften der Autoren:

Robert Skoruppa
Dr. Judith Walter
Dr. Albrecht Bauriegel
Landesamt für Bergbau, Geologie
und Rohstoffe Brandenburg
Inselstraße 26
03046 Cottbus

Christian Lehr
Institut für Umweltwissenschaften
und Geographie, Universität Potsdam
Karl-Liebknecht-Str. 24-25
14476 Potsdam-Golm

Brandenburg. Geowiss. Beitr.	Cottbus	Bd. 32/2025	S. 145–147	2 Abb.

Geophysikalische multi-Sensor Untersuchungen in der bodenkundlichen Landesaufnahme

Judith Walter & Julien Guillemoteau

Das Dezernat Bodengeologie am Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe (LBGR) setzt geophysikalische Verfahren zur Ergänzung der Kartierung in der bodengeologischen Landesaufnahme ein. Der große Vorteil dieser Verfahren ist, dass sie nahezu nicht-invasiv arbeiten und 2-dimensionale räumliche Informationen zum vertikalen und horizontalen Verlauf von Bodeneigenschaften liefern. Damit sind sie eine wertvolle Ergänzung zu punktuellen Aufnahmen (Grabung, Bohrung) in der Bodenkunde. Es kommen verschiedene Verfahren zum Einsatz wie die Geoelektrik (ERT: Electrical Resistivity Tomography), die Elektromagnetik (EMI: Electromagnetic Induction) oder dem Georadar (GPR: Ground Penetrating Radar). Je nach Verfahren werden unterschiedliche elektrische Parameter (z. B. elektrischer Widerstand oder Leitfähigkeit, dielektrische Eigenschaften) im Boden kontinuierlich lateral und in der Tiefe gemessen, die wiederum direkt oder indirekt mit Bodeneigenschaften zusammenhängen (z. B. Bodenlösung, organische Substanz, Textur, Bodenfeuchte).

Das Dezernat Bodengeologie setzt die geophysikalischen Verfahren in enger Kooperation mit der Arbeitsgruppe für Angewandte Geophysik an der Universität Potsdam um. Die AG besitzt eine ausgewiesene Expertise im Bereich verschiedener geophysikalischer Verfahren, deren Weiterentwicklung sowie in der Entwicklung von neuen Auswertealgorithmen.

Fallbeispiel 1: Geophysikalische Erkundung der räumlich-stratigraphischen Ausstattung und zeitlichen Dynamik von repräsentativen landwirtschaftlich genutzten Moorstandorten

Das Dezernat Bodengeologie ist federführend mit der Erfassung der räumlichen Verbreitung der brandenburgischen Moorstandorte betraut. Dabei ist es von besonderer Bedeutung die Datenlage aktuell zu halten, da 1. die landwirtschaftlich genutzten Moorstandorte sehr starken zeitlichen Veränderungen unterliegen und 2. eine aktuelle Flächenkulisse für die Umsetzung von Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen in der Landwirtschaft zwingend notwendig ist (GLÖZ 2 Kulisse). Punktuelle Aufnahmen allein können den Anforderungen nach Aktualität der Flächenkulisse meist nicht ausreichend gerecht werden, weshalb eine Kombination mit geophysikalischen Verfahren sehr zielführend ist. Im Projekt wurden verschiedene geophysikalische Verfahren (u. a. GPR, ERT, EMI) eingesetzt, da sie jeweils unterschiedliche Sensitivitäten aufweisen und in der Kombination die Bodeneigenschaften umfassender beschreiben können (Abb. 1). Dabei kam eine von der AG Angewandte Geophysik neu entwickelte Methode zum Einsatz, die über eine multi-Sensor Datenintegration ein 3D-Untergrundmodell der untersuchten Gebiete ableitet (kombinierte Inversion). Diese Methode erlaubt eine umfassende Charakterisierung der räumlichen und vertikalen Verteilung der Moorstratigraphie. Mit dem Ansatz konnte auf einer Pilotfläche im Rhinluch nordwestlich von Berlin gezeigt werden, wie heterogen die räumliche und vertikale Mächtigkeit der Torfe auf kurzer Distanz ausfallen kann (Abb. 1). Zudem konnten kreisförmige Strukturen in der Leitfähigkeits-Karte (Abb. 1, rechts), für deren Genese ehemalige mit Torf verfüllte Toteislinsen sehr wahrscheinlich sind, in der vertikalen Darstellung bestätigt werden (Abb. 1, links). Darüber hinaus haben zeitliche Widerholungsmessungen die Mächtigkeit der degradierten Torfe im Oberboden abgebildet, da diese im Sommer sehr stark ausgetrocknet sind. Die starke Austrocknung der degradierten Torfe hat sich in – für Torfe – vergleichsweise sehr geringen Leitfähigkeiten gezeigt (Ergebnisse hier nicht aufgeführt).

Fallbeispiel 2: Geophysikalische Erkundung der horizontalen und vertikalen Schichtung einer Decksand-Geschiebemergel Einheit

Hintergrund und Motivation ist, dass in Brandenburg zunehmend die Wasserversorgung der landwirtschaftlich genutzten Böden durch die veränderten Klimabedingungen mit ansteigender Trockenheit im Fokus steht. Insbesondere auf den grundwasserfernen Standorten ist die geringe nutzbare Feldkapazität der aus sandigen Substraten entwickelten Böden limitierend für das Pflanzenwachstum. In den Oberböden Brandenburgs dominieren Rein-, Schluff- und Lehmsande periglaziären oder fluviatilem Ursprungs.

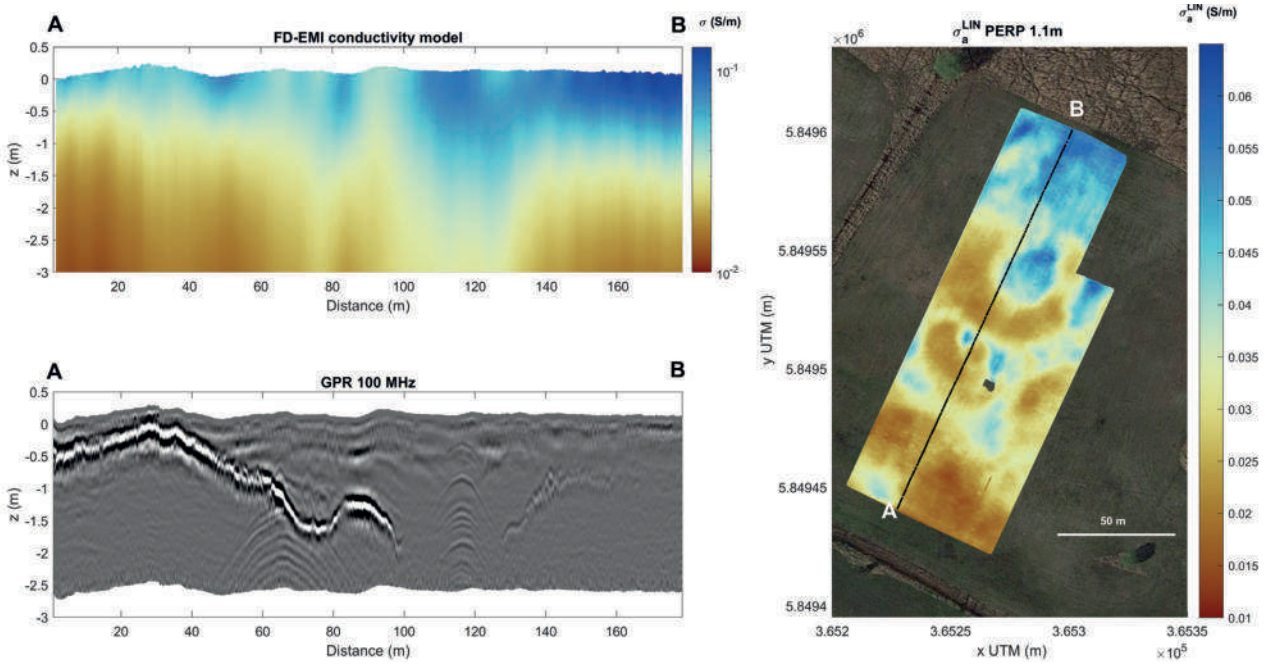


Abb. 1: Rechts: Elektromagnetische Kartierungsmessungen
Links: An ausgewähltem Transekt (AB) Messungen mittels Georadar (GPR, links unten) und Elektromagnetik mit Inversion als 2D-Profilschnitte (links oben)

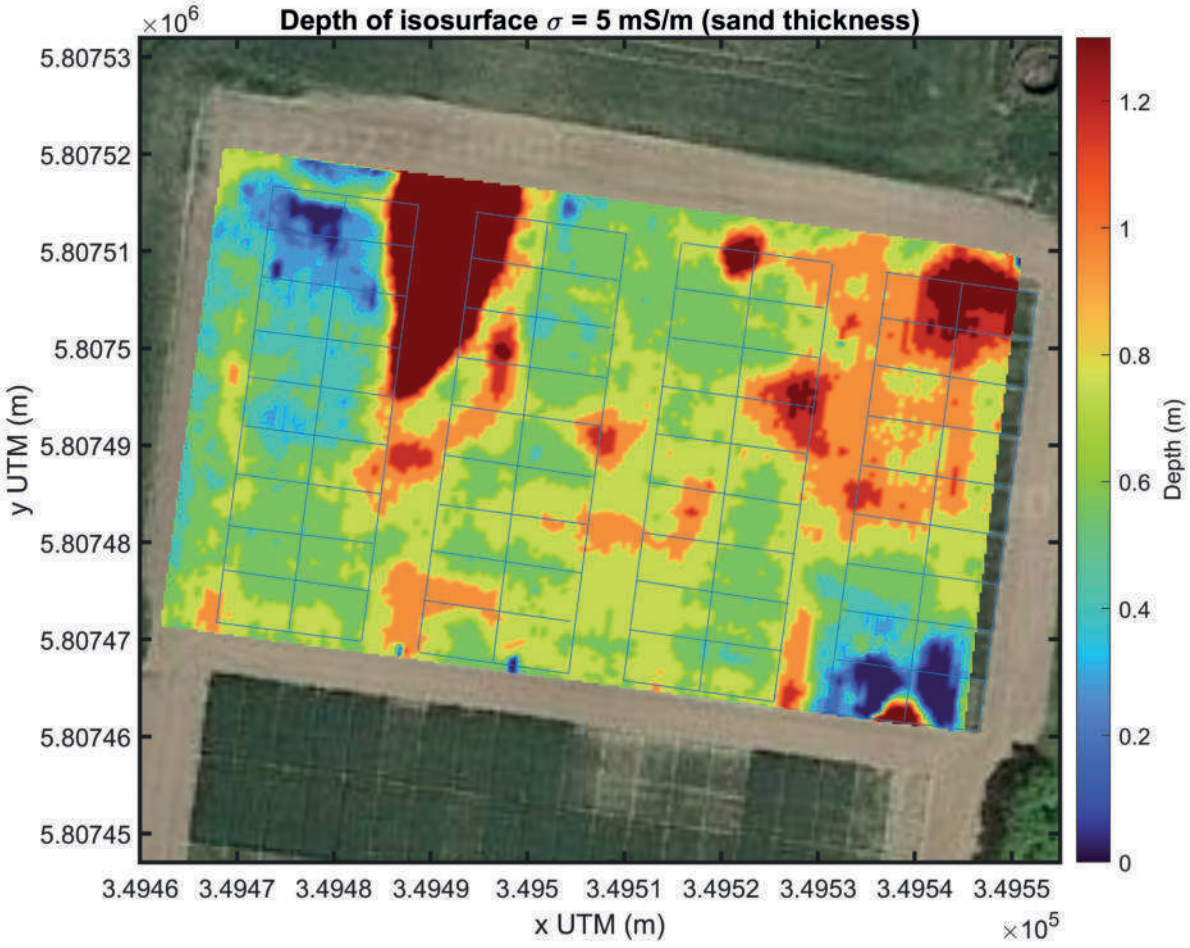


Abb. 2: Karte zur Mächtigkeit der Decksandschicht (entspricht der Tiefenlage der Obergrenze des Geschiebemergels) auf einem Dauerfeldversuch in Groß Kreutz in Brandenburg

Im Unterboden befinden sich je nach Standort meist lehmige Substrate die genetisch den Grundmoränenablagerungen (Geschiebemergel bzw. -lehm) zuzuordnen sind. Diese Substrate besitzen ein höheres Wasserspeichervermögen (nutzbare Feldkapazität) und nehmen somit eine entscheidende Rolle für die Wasserversorgung der Pflanzen ein. Die Kenntnis über den Substrataufbau kann dementsprechend bei der Wahl der Fruchtart oder des möglichen Zeitpunktes von Bewässerungsmaßnahmen berücksichtigt werden.

Untersucht wurde ein Dauerfeldversuch des Landesamtes für Ernährung, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg (LELF) bei Groß Kreutz westlich von Potsdam, welcher sich durch sehr heterogene Substratverteilung in den oberen zwei Metern auszeichnet. Durch die Kombination verschiedener geophysikalischer Verfahren (GPR, ERT, EMI) wurde die Mächtigkeit der Decksand-Schicht (Abb. 2) bzw. die Tiefenlage und Mächtigkeit des Geschiebemergels sowohl lateral als auch vertikal in einem 3D-Untergrundmodell hoch aufgelöst (cm-Bereich) erfasst. Mit diesen Daten kann die Frage beantwortet werden, ob in Gebieten, in denen der Geschiebemergel tiefer liegt, eine damit verbundene schlechtere Wasserversorgung auf landwirtschaftlichen Nutzflächen zu geringeren Erträgen führt. Zusammenhänge zwischen der Bodenbeschaffenheit und der landwirtschaftlichen Produktivität können mit diesen Daten analysiert werden und somit gezielte Bewirtschaftungsstrategien entwickelt werden.

Anschriften der Autoren:

Dr. Judith Walter
Landesamt für Bergbau, Geologie und
Rohstoffe Brandenburg
Inselstraße 26
03046 Cottbus

Dr. Julien Guillemoteau
Institut für Geowissenschaften,
Universität Potsdam
Am Neuen Palais 10
14469 Potsdam

Inbetriebnahme einer CRNS-Sonde zum Monitoring der Bodenfeuchte auf einer Stilllegungsfläche bei Trebbin (Foto: A. Markert 09.10.2025)

Brandenburg. Geowiss. Beitr.	Cottbus	Bd. 32/2025	S. 149–151	1 Abb., 1 Tab.

Ein neues Bodenfeuchte-Messnetz in Brandenburg: Cosmic-Ray Neutron Sensing (CRNS) als Basis zur repräsentativen Messung des Bodenwassergehalts

Arvid Markert, Daniel Altdorff, Albrecht Bauriegel, Peter Biró, Till FRancke, Peter M. Grosse, Maik Heistermann, Sabine Attinger & Sascha E. Oswald

Brandenburg zählt zu den trockensten Regionen Deutschlands und geringe Bodenfeuchten limitieren in hohem Maße die land- und forstwirtschaftliche Praxis. Repräsentative und zeitlich hoch aufgelöste Messdaten zum Wassergehalt des Bodens sind eine entscheidende Grundlage, um angepasste Managementsysteme entwickeln und den mit Trockenheit verbundenen Risiken begegnen zu können.

In Brandenburg wird aktuell durch die Universität Potsdam, das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig (UFZ) und das Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR) ein neuartiges Bodenfeuchtemessnetz auf Basis der CRNS-Technologie (Cosmic-Ray Neutron Sensing) aufgebaut. Zum jetzigen Zeitpunkt sind bereits 8 Messstationen durch die Universität Potsdam und das UFZ installiert sowie eine Messstation des Deutschen Wetterdienstes mitgenutzt. Im Verlauf des Jahres 2025 wird das LBGR weitere 4 solcher Stationen in Betrieb nehmen und damit das Netzwerk erweitern.

Die Messtechnik basiert auf der Detektion von im Boden reflektierten kosmogenen Neutronen, welche besonders sensitiv auf Wasserstoffatome reagieren. Dadurch lässt sich eine inverse Abhängigkeit der Neutronenintensität von dem vorherrschenden Wasser in der Wurzelzone um den Sensor herum ableiten. Die CRNS-Technologie erlaubt eine kontinuierliche, nicht-invasive Bodenfeuchtemessung bis zu einer Tiefe von mehreren Dezimetern in einer Sensorumgebung von ca. 10 Hektar, wobei die Eindringtiefe der Neutronen und der Mittelungsbereich des Sensors in Abhängigkeit von der aktuellen Bodenfeuchte leicht variieren. Dadurch ist CRNS auch besonders geeignet, den kritischen Maßstabsbereich zwischen klassischen Punktmessungen (TDR, FDR) und satellitengestützten Fernerkundungsprodukten zu schließen. Die hohe zeitliche Auflösung der Messungen (< 1 Tag) ermöglicht sowohl eine Berücksichtigung von lokalen Niederschlagsereignissen, als auch Bewirtschaftungsmaßnahmen wie Mahd und Ernte, die den boden- und vegetationsgebundenen Wasserstoffpool unmittelbar beeinflussen.

Bei der Standortauswahl für die CRNS-Stationen wurden die für Brandenburg repräsentativsten Flächennutzungen herangezogen, deren Flächenanteile an der Landesfläche sich wie folgt verteilen: Acker (34 %), Grünland (10 %), Kiefer (25 %), Eiche (2,4 %) sowie Buche (1,2 %). Neben der Flächennutzung wurden auch die für Brandenburg „typischen“ Boden- und Standorteigenschaften mit den folgenden Böden berücksichtigt: Böden aus glazialen Sedimenten einschließlich ihrer periglaziären Überprägungen, Böden aus Fluss- und Seesedimenten einschließlich Urstromtalsedimenten sowie Böden aus organogenen Bildungen. Weitere Kriterien bei der Standortauswahl waren: Gleichmäßige Verteilung über die Landesfläche, Grundwasserflurabstand, geringe Heterogenität in der Sensorumgebung, Kooperationsbereitschaft des Bewirtschafters und Zugänglichkeit der Fläche, mögliche Sicherheitsmaßnahmen gegen Diebstahl oder Vandalismus sowie bereits vorhandene Messeinrichtungen (Altdorff & Heistermann et al. 2024). Abbildung 1 und Tabelle 1 geben einen Überblick zu den bisherigen Standorten und den jeweiligen Standorteigenschaften.

Die ersten vorläufigen Forschungsergebnisse zu der aus dem CRNS-Signal abgeleiteten Bodenfeuchte liegen vor und können hier abgerufen werden: https://cosmic-sense.github.io/brandenburg/de/monitoring/. Die dort dargestellten Abbildungen zeigen die zeitliche Dynamik der aus dem CRNS-Signal abgeleiteten sowie die mit dem eindimensionalen bodenhydrologischen SWAP-Modell (Soil, Water, Atmosphere and Plant) modellierten Bodenfeuchten an den jeweiligen Standorten. Die Darstellungen dienen jedoch vorerst nur der Validierung und Verifizierung der Datenverarbeitung.

Eine Herausforderung bei der Ableitung des Bodenwassergehalts aus dem CRNS-Signal besteht in der Einbeziehung von schichtbezogenen Bodendaten, die oft komplex und standortspezifisch sind und bereits innerhalb der obersten Dezimeter bezüglich Bodenart, Trockenrohdichte und Humusgehalt variieren. Eine zukünftige Aufgabe ist, diese vertikale und horizontale Variabilität der

Abb. 1: Lage der 9 bereits produktiv laufenden CRNS-Sonden

Standort	Landnutzung	Genese	Bodenart Oberboden	Mittlerer Grundwasserabstand (m)
1. Booßen	Acker	periglaziär/glazigen	Sl2	10
2. Golm	Grünland	fluvilimnogen	fSms	1–2
3. Paulinenaue	Grünland	fluvilimnogen/organogen	fSms	2–3
4. Dedelow	Acker	periglaziär/glazigen	Sl2	10
5. Kienhorst	Forst (Kiefer)	periglaziär/glazigen	mSfs	5–7,5
6. Marquardt	Acker	periglaziär/glazifluviatil	Sl2	10–15
7. Lindenberg	Grünland	periglaziär/glazigen	Sl2	3
8. Oehna	Acker	periglaziär/glazifluviatil	Sl2	10–15
9. Wustermark	Industrie	anthropogen	–	3

Tab. 1: Standorteigenschaften der 9 bereits produktiv laufenden CRNS-Sonden (vgl. Altdorff et al. 2024)

Bodeneigenschaften bereits während der Kalibrierung der Sonden zu integrieren und zu prüfen, ob dadurch die Auswertung des CRNS-Signals hinsichtlich verschiedener Standort- und Bodeneigenschaften verbessert werden kann. Um verlässliche Verallgemeinerungen für nichtinstrumentierte Landschaftsteile zu erstellen, muss auch die Übertragbarkeit der aus dem CRNS-Signal abgeleiteten Bodenfeuchte auf andere Standorte und Bodenverhältnisse geklärt werden. Die Hochskalierung der Daten mittels Wasserhaushaltsmodellen und auf Basis bereits verfügbarerer Flächeninformationen ist entscheidend, um sie auf größere Gebiete oder andere Regionen anwenden zu können und bildet einen Schwerpunkt aktueller Forschungsarbeiten am UFZ.

Das neue Bodenfeuchte-Messnetz ist ein innovatives Werkzeug, um Praxisfragen in der Landwirtschaft und in der Umweltforschung besser zu beantworten. Es ermöglicht die räumliche Messung und Analyse der Bodenwasserdynamik, was für eine nachhaltige Bewirtschaftung und die Anpassung an klimatische Veränderungen entscheidend ist. Verschiedene Anwendungsszenarien könnten sein: Die Optimierung von Bewässerungsstrategien, die frühzeitige Identifikation von Dürreperioden, die Planung von Anbauzyklen oder die Überwachung der Bodenqualität in sensiblen Ökosystemen. Durch die Nutzung des Messnetzes können Landwirte, Forscher und Umweltexperten fundierte Entscheidungen treffen, die sowohl die Ernteerträge steigern als auch die natürlichen Ressourcen langfristig schützen.

Datenverfügbarkeit: Die CRNS-Rohdaten und die CRNS-abgeleiteten Bodenwassergehalte stehen unter https://cosmic-sense.github.io/brandenburg/de/monitoring/ zum Download bereit.

Danksagung

Diese Forschungsarbeit wurde gefördert durch das Ministerium für Land- und Ernährungswirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz (MLEUV) Brandenburg und von der Universität Potsdam, Arbeitsgruppe Wasser- und Stofftransport in Landschaften. Der Hauptteil der Geräte wird durch das UFZ Leipzig bereitgestellt. Wir danken ebenso Paul Reibetanz und Jens Hannemann vom Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde sowie Markus Köhli von StyX Neutronica für ihre Unterstützung ebenso wie den Grundbesitzern und Organisationen, die den Zugang zu den Standorten gewähren: Axel Behrendt und Gernot Verch, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF), AGRO Uetz-Bornim, LPG Oehna, Christiane Sengebusch, Golo Philipp, und Ronny Henkel von Rail & Logistik Center Wustermark GmbH.

Literatur

Altdorff, D., Heistermann, M., Francke, T., Schrön, M., Attinger, S., Bauriegel, A., Beyrich, F., Biró, P., Dietrich, P., Eichstädt, R., Grosse, P. M., Markert, A., Terschlüsen, J., Walz, A., Zacharias, S. & S. E. Oswald (2024): Brief Communication: A new drought monitoring network in the state of Brandenburg (Germany) using cosmic-ray neutron sensing. – EGUsphere [preprint], https://doi.org/10.5194/egusphere-2024-3848

Anschriften der Autoren:

Arvid Markert*
Albrecht Bauriegel
Landesamt für Bergbau, Geologie
und Rohstoffe Brandenburg
Inselstraße 26
03046 Cottbus, Deutschland
*Korrespondenz: arvid.markert@lbgr.brandenburg.de

Peter Biró
Till Francke
Peter M. Grosse
Maik Heistermann
Sascha E. Oswald
Institut für Umweltwissenschaften
und Geographie, Universität Potsdam
Karl-Liebknecht-Str. 24-25
14476 Potsdam, Deutschland

Daniel Altdorff,
Sabine Attinger
UFZ – Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH
Permoserstr. 15
04318 Leipzig, Deutschland

Geoelektrikmessung am Götzer Wachtelberg zur Erkundung oberflächig anstehender, karbonathaltiger Bodenausgangsgesteine (Foto: A. Markert 03.05.2023)

Brandenburg. Geowiss. Beitr.	Cottbus	Bd. 32/2025	S. 153–156	3 Abb.

Aufbau einer Spektrenbibliothek im nahen und mittleren Infrarot zur Ableitung von Bodenparametern

Jürgen Müller, Tina Thrum, Judith Walter, Holger Müller & Albrecht Bauriegel

Viele bodenkundliche Parameter werden visuell nach qualitativen morphologischen Kriterien erfasst und besitzen damit naturgemäß eine größere Unsicherheit. Bisher ist keine quantitative Methode zur Analyse qualitativer Charakteristika, wie z. B. der Pedogenese oder der Substratspezifikation, für Moorböden etabliert. Spektroskopische Untersuchungen an Bodenproben im mittleren Infrarotspektrum (MIRS) haben sich mittlerweile als geeignete Methoden zur Charakterisierung von Mineralböden und deren Substrateigenschaften erwiesen und bieten somit die Möglichkeit, diese Lücke zu schließen. Im Falle von organogenen Böden stoßen vornehmlich Farbinformationen wiedergebende Wellenlängenbereiche allerdings an ihre Grenzen, so dass es zur Differenzierung von komplexen inhaltsstofflichen Merkmalen, wie z. B. den Zersetzungsgraden der Torfe, auch Informationen zur Chemie der charakterisierenden organischen Verbindungen bedarf. Diese vermag insbesondere das nahe Infrarotspektrum (NIRS) zu liefern. Spektroskopische Verfahren sind darüber hinaus sehr arbeits- und kostensparend, was eine wesentlich höhere Anzahl von Analysen und damit die Abbildung räumlicher Heterogenität ermöglicht. NIR-spektroskopische Daten ermöglichen in der Bodenkunde zwei Hauptanwendungen: Zum einen die Nutzung der gesamten spektralen Information als eine Art inhaltsstofflicher Fingerabdruck zur Diskriminierung und Klassifizierung von Substraten. Zum anderen die Entwicklung von Kalibrationen zur quantitativen Schätzung einzelner Inhaltsstoffe, indem diejenigen Spektrenabschnitte selektiert und gewichtet werden, die Informationen zum entsprechenden Zielmerkmal aufweisen.

Das Dezernat Bodengeologie am Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR) verfolgt beide Ansätze und kooperiert daher mit wissenschaftlichen Einrichtungen, die derartige spektroskopische Methoden entwickeln. Neben der notwendigen Messtechnik stellt die Entwicklung von statistisch begründeten und regional gültigen Klassifikationsalgorithmen und Merkmalskalibrationen eine wesentliche Voraussetzung für den Einsatz dieser Verfahren dar. Durch die Kooperationspartner (Universität Rostock, Lehrstuhl für Grünland- und Futterbauwissenschaften und Universität Leipzig, Institut für Geographie) wurden bzw. werden bereits erfasste und umfassend analysierte Bodenproben aus Brandenburg (archivierte Rückstellproben, Mineralboden und Torfe) spektroskopisch im Bereich des nahen und mittleren Infrarots (NIR, MIR) untersucht. Im Rahmen der laufenden Projekte soll überprüft werden, ob sich die qualitative Klassifikation der Bodenhorizonte über Ähnlichkeiten in den spektroskopischen Mustern fassen lassen. Darüber hinaus soll bewertet werden, inwieweit die Verfahren der spektroskopischen Untersuchung konventionelle Analysemethoden ergänzen bzw. ersetzen können.

Charakterisierung von klassifizierten Substraten organogener Referenzstandorte Brandenburgs mittels Fourier-Transfer-Nahinfrarot-Reflexionsspektroskopie (FT-NIRS)

Aufgrund ihres Flächenumfangs und ihrer Funktion als Kohlenstoffspeicher spielen Moorböden eine große Rolle im landschaftsökologischen Kontext des Landes Brandenburg. Eine möglichst zuverlässige und reproduzierbare Charakterisierung ihrer Substrate ist Voraussetzung für die Einschätzung ihres biogeochemischen Verhaltens unter verschiedensten hydrologischen Regimen. Wichtige Merkmale zur Charakterisierung des aktuellen Zustandes von Torfen sind u. a. die Torfart und deren Zersetzungsgrad (Humifizierungsgrad nach KA6).

Seit 2022 wurden insgesamt 495 Torfproben organogener Referenzstandorte, für die sowohl pedogenetische und substratrelevante Klassifizierungen als auch Daten zur chemischen Charakterisierung vorliegen (TOC, TC, TN, TS, P, KAK), an der Universität Rostock (Lehrstuhl für Grünland- und Futterbauwissenschaften/Steinbeis-Transferzentrum Soil-Biotechnology) spektral analysiert. Das Dezernat Bodengeologie verfügt damit über einen Datenpool, welcher die spektralen Informationen von 1 154 Wellenlängen je Torfprobe als FT-NIR-gemessene Absorbanzwerte beinhalten.

Die Messung erfolgte mit einem stationären FT-NIR Gerät MPA (Multi-Purpose-Analyzer) der Fa. Bruker im Wellenlängenbereich von 3 594 bis 12 488 Wellen cm^{-1} in zweifa-

cher Wiederholung à 64 Scans pro Messung. Dieser Teilbereich des infraroten Lichts ist potentiell geeignet, spektrale Reflexionssignale zu erhalten, die die chemische Signatur der organischen Komponente der Torfe widerspiegeln. Die Messwiederholungen wurden gemittelt und in einer Spektrenbibliothek abgelegt, die somit die inhaltsstofflich-molekulare Bandbreite der Torfsubstrate im Land Brandenburg repräsentiert. Die weitere Spektrenvorbehandlung erfolgte mit der Bruker-Software QUANT2, der CAMO-Software „Unscrambler“ sowie mittels eigener R-Skripte. Abbildung 1 zeigt die gemittelten, aber noch nicht vorbehandelten Spektren der Torfproben.

Mit dem Ziel der Entwicklung von Kategorisierungsmodellen wurden verschiedene chemometrische Methoden (h-CA, PCA, PLS-DA, ML-SV) auf den vorbereiteten Datenpool angewendet, um zu untersuchen, welche spektralen (= inhaltsstofflichen) Ähnlichkeiten bzw. Unähnlichkeiten zwischen den Torfproben bestehen. Abbildung 2 zeigt ein Beispiel einer solchen Anwendung auf die Kategorien des Zersetzungsgrades. Mittels PCA konnten zudem diejenigen Spektrenbereiche ausfindig gemacht werden, die die Hauptinformation zu dessen Charakterisierung beherbergen. Diese waren an beiden Rändern des untersuchten Spektralbereichs ausgeprägt, während das mittlere NIR wenig zur inhaltsstofflichen Differenzierung beitrug.

Abbildung 3 zeigt am Beispiel des Gehaltes an organischem Kohlenstoff die Ergebnisse einer Kalibration und der unabhängigen Validation derselben. Anhand des Standardschätzfehlers kann der Anwender unter Abwägung des Genauigkeitsanspruches und des notwendigen Probenumfangs entscheiden, ob er die Kalibration oder die klassische Labor-Referenzmethode bevorzugen möchte.

Schlussfolgerung und Ausblick

Das Dezernat Bodengeologie ist aktuell damit befasst, sein wertvolles Archiv an klassifizierten und auf wesentliche chemisch-inhaltliche Parameter analysierten Bodenproben aus Brandenburg weitergehenden spektroskopischen Untersuchungen zu unterziehen. Auf der Grundlage der im Aufbau befindlichen Spektrendatenbank lassen sich bereits jetzt Kalibrationsfunktionen zur kostengünstigen Schätzung von Schlüsselmerkmalen ableiten und nutzen. Als erwartungsgemäß schwieriger gestaltete sich eine mit geltenden Kartieranleitungen übereinstimmende Klassifizierung der untersuchten Torfe. Dies liegt jedoch nicht nur an den angewandten chemometrischen Modellen, sondern auch an den Limitierungen der Referenzkategorien selbst. Es steht außer Zweifel, dass sich zukünftig KI-gestützte Klassifizierungsalgorithmen auch in der bodenkundlichen

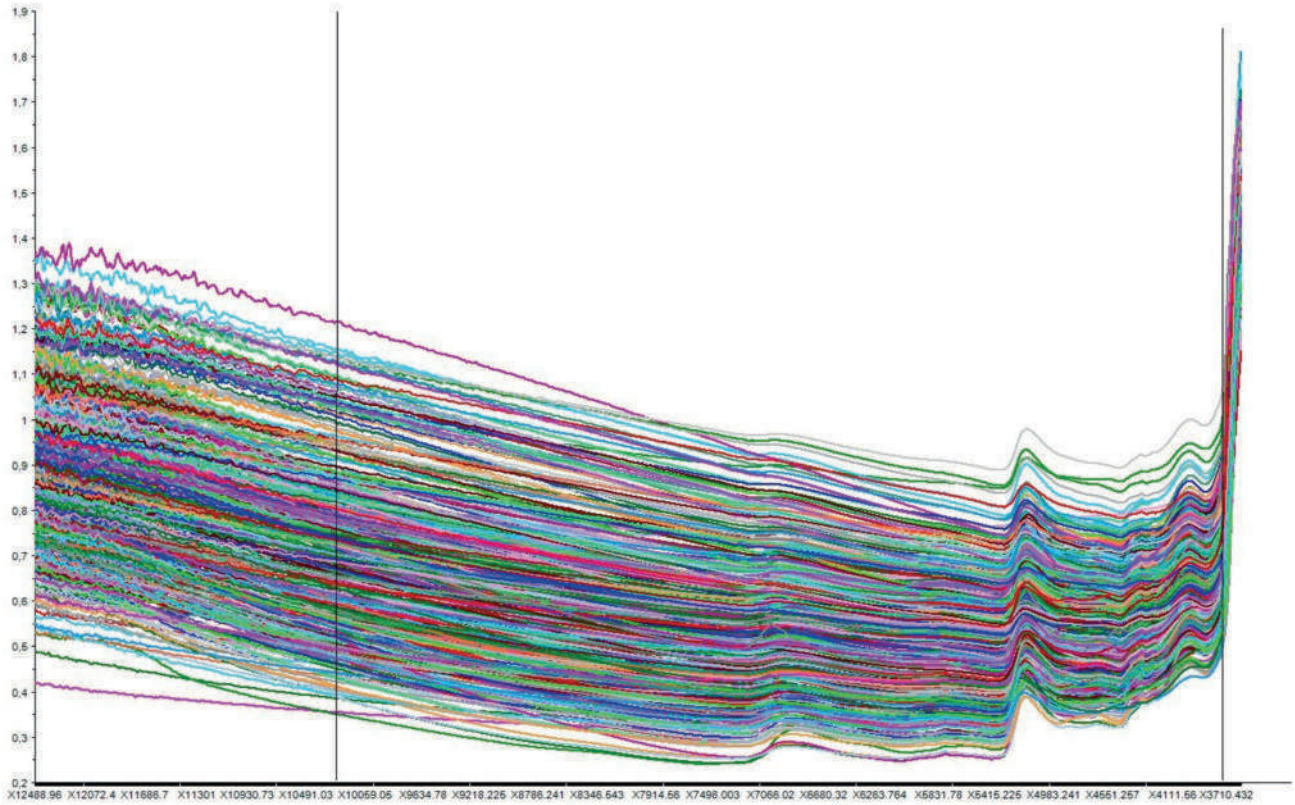


Abb. 1: Darstellung der gemittelten, aber noch nicht vorbehandelten Spektren der Torfproben (n = 495). Die Wellenanzahl auf der x-Achse ist nach dem Energieniveau der Strahlung sortiert. Die y-Achse stellt die Absorbanzwerte [Einheit ist das logarithmierte Reziprok der detektierten Reflexion, log(1/R)] dar.

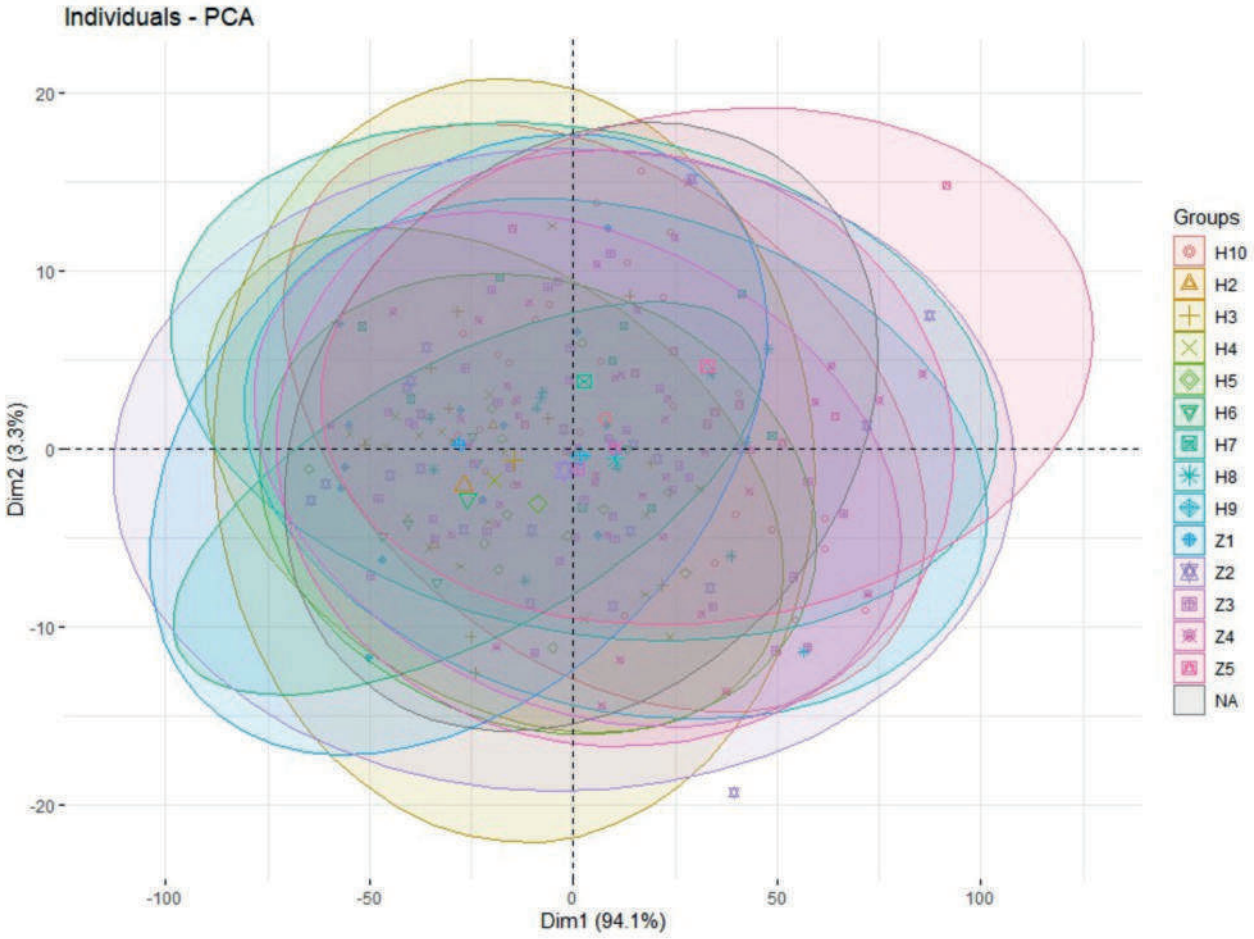


Abb. 2: Anordnung der Spektren von Torfproben mit unterschiedlichem Zersetzungsgrad im Dimensionsraum der beiden Hauptfaktoren, die bereits 97,4 % der Datensatzvarianz erklären. Die Ellipsen umschließen den Raum der von den einzelnen Zersetzungsgraden besetzten Positionen (siehe Legende).

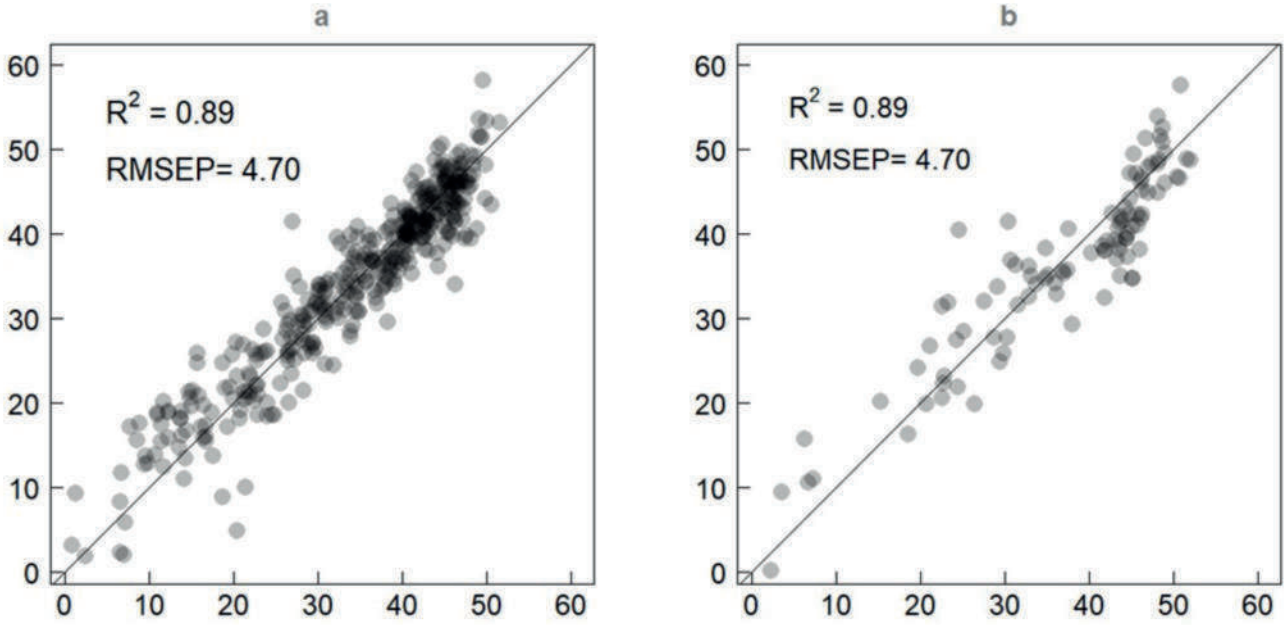


Abb. 3: Darlegung der Ergebnisse der Kalibration (a, links) sowie der Validation (b, rechts) auf das Merkmal organischer Kohlenstoffgehalt in % nach Modellbildung mittels der Partial Least Square (PLS) Regressionsanalyse bei Verwendung der kompletten, manipulierten Spektrenmatrix.

Praxis durchsetzen werden. Diese benötigen erfahrungsgemäß mehr als 5 000 Referenzfälle, um valide Modelle generieren zu können. In einem ersten Testlauf (Machine Learning mit Support-Vector-Algorithmus) mit den bisher lediglich 495 Torfproben der Spektrendatenbank konnten dennoch bereits ermutigende Ergebnisse in den Bereichen mit hinreichender Klassenbesetzung erzielt werden. Daher gilt es, den eingeschlagenen Weg fortzusetzen und die Datengrundlage sukzessive zu erweitern. Dazu könnten auch länderübergreifende Kooperationen beitragen. Für den Erfolg derartiger Bestrebungen ist ein hohes Niveau (gute Reproduzierbarkeit unabhängig von Personal und Ausstattung) sowohl der Feldklassifizierung als auch der klassischen chemischen Laboranalytik vonnöten.

Anschriften der Autoren:

Dr. Jürgen Müller
Universität Rostock, Lehrstuhl für Grünland- und Futterbauwissenschaften
Justus-von-Liebig-Weg 6
18059 Rostock

Tina Thrum,
Dr. Judith Walter,
Holger Müller,
Dr. Albrecht Bauriegel
Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg
Inselstraße 26
03046 Cottbus

Brandenburg. Geowiss. Beitr.	Cottbus	Bd. 32/2025	S. 157–159	2 Abb.

2D-seismische Erkundung in der Niederlausitz – eine Chance für die tiefengeologische Landesaufnahme und die tiefe Geothermie

Sebastian Weinert, Luisa Schreier, Thomas Höding & Birgit Futterer

Das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit, Energie und Klimaschutz (MWAEK) des Landes Brandenburg hat das Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe (LBGR) beauftragt, im Rahmen der geologischen Landesaufnahme Standorte in Brandenburg hinsichtlich geothermisch nutzbarer Reservoire zu untersuchen. Im Rahmen der geologischen Landesaufnahme ist am LBGR ein Standort in der Niederlausitz für ein Pilotprojekt 2D-seismischer Untersuchungen ausgewählt worden. Dieses Projekt ist aus mehreren Aspekten für die geologische Landesaufnahme interessant.

Tiefengeologische Landesaufnahme

Die (tiefen-)geologische Landesaufnahme ist sowohl im Bundesberggesetz (BBergG) als auch im Geologiedatengesetz (GeolDG) gesetzlich verankert. Im BBergG wird in §4 Abs. 1 die geologische Landesaufnahme explizit aus dem Begriff der „Aufsuchung“ herausgenommen. Das ermöglicht den geologischen Diensten eine effiziente Erkundung des tieferen Untergrunds und großräumige Untersuchungen, wie sie beispielsweise mittels 2D-seismischer Erkundung durchgeführt werden, können zeitsparend ausgeführt werden.

Zusätzlich wird das GeolDG auf die staatliche geologische Landesaufnahme angewendet (§2 Abs. 1 GeolDG) und näher spezifiziert nach §3 Abs. 1 GeolDG als systematische punkt-, linien-, flächen- und raumbezogene Erfassung der geologischen Verhältnisse des geologischen Untergrunds definiert. Weiterhin wird im GeolDG geregelt, dass von einer Behörde erhobene geologische Daten (z. B. im Rahmen einer geologischen Landesaufnahme) als staatliche Daten angesehen werden (§3 Abs. 4 GeolDG) und somit öffentlich bereitgestellt werden müssen (§23 GeolDG). Durch eine öffentliche Bereitstellung können die im Rahmen der geologischen Landesaufnahme gewonnenen Daten beispielsweise von weiteren Behörden, Forschungseinrichtungen sowie anderen Interessenten kostenfrei abgerufen und verwendet werden.

Projektbeschreibung

Das ausgewählte Untersuchungsgebiet erstreckt sich hauptsächlich im Landkreis Spree-Neiße im Bereich Amt Peitz und der amtsfreien Stadt Guben im Nordosten des Landkreises sowie am nordwestlichen Rand der kreisfreien Stadt Cottbus im Südwesten (Abb. 1). Das zu erkundende Gebiet ist somit Teil des Lausitzer Kohlereviers und grenzt an mehrere Naturräume und landschaftsbildende Einheiten wie die Peitzer Teichlandschaft, den Naturpark Schlaubetal sowie die Lieberoser Heide. Die gesamte Region zeichnet sich durch bergbauliche Nutzung, traditionelle Kulturlandschaften und geschützte Naturgebiete aus.

Die geplanten Profillinien der 2D-Seismik verlaufen jedoch primär entlang von Verkehrswegen wie Bundesstraßen, Landstraßen, Wirtschaftsstraßen sowie Feld- und Waldwegen und der Hauptbahntrasse Cottbus – Guben.

Das Projekt lässt sich grundsätzlich in 3 Projektabschnitte gliedern:

(1) Projektplanung

Im ersten Abschnitt des Projekts wird die Planung der 2D-seismischen Linien durchgeführt. Dies umfasst sowohl die Linienführung, deren Anbindung an bereits existierende Bohrungen sowie die Beschreibung der geophysikalischen Messparameter, die während der eigentlichen Messkampagne angewendet werden. Darüber hinaus wird ein Konzept für die begleitende Öffentlichkeitsarbeit entwickelt, um die beteiligte Bevölkerung und andere Interessierte angemessen zu informieren.

(2) Messkampagne*

Der zweite Projektabschnitt konzentriert sich auf die praktische Arbeit im Feld. In diesem Zeitraum werden die geplanten seismischen Linien vermessen, es werden die Positionen der Geophone und Anregungspunkte festgelegt und am Ende des Projektabschnitts die Daten mittels Geophonen aufgenommen. Dabei werden an den Anregungspunkten entlang der Messstrecke Vibro-Trucks fahren und

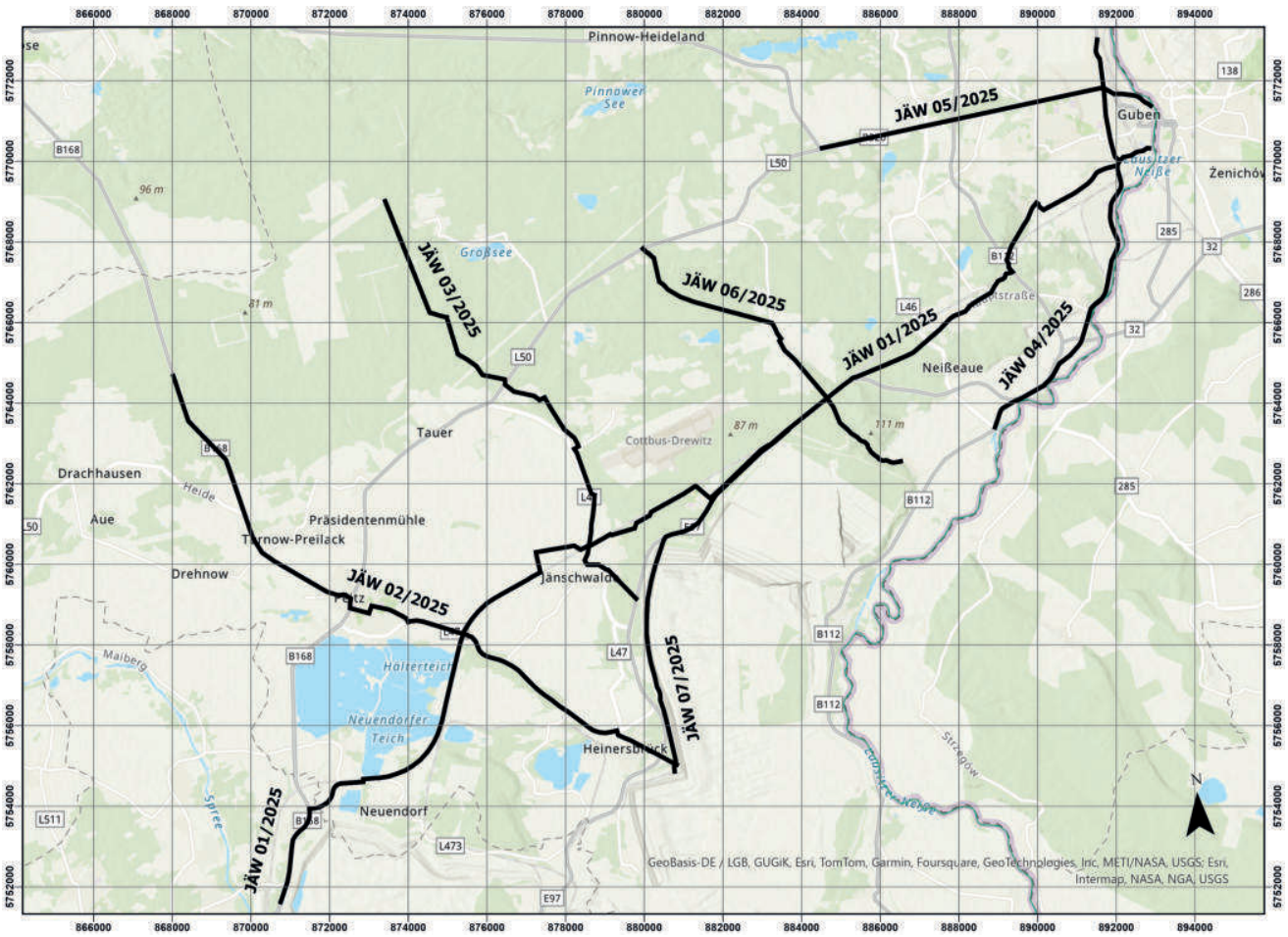


Abb. 1: Verlauf der geplanten 2D-seismischen Linien im Bereich Cottbus und Guben

an definierten Punkten Schallwellen in den Untergrund senden, deren Reflexion von den Geophonen aufgezeichnet werden.

Vor der Messkampagne werden im sogenannten Permitting die Erlaubnisse für Grundstücksbetretungen sowie das Auslegen der Geophone bei den jeweils Betroffenen eingeholt.

(3) Auswertung und Bereitstellung

Im dritten Abschnitt werden die im Feld aufgenommenen Daten verarbeitet. Im sogenannten Processing werden die Felddaten mit spezieller Software bearbeitet und schlussendlich als fertige Zeit- und Tiefentransekte ausgegeben. Diese Zeit- und Tiefendaten können zeitnah der Öffentlichkeit bereitgestellt werden bzw. als staatliche Daten kostenfrei beim LBGR angefragt werden. Anschließend sollen die Zeit- und Tiefendaten geologisch interpretiert werden, um somit die gewünschten Aussagen zur Lage, Orientierung und ggf. Mächtigkeit von geologischen Horizonten sowie z. B. Störungszonen zu ermöglichen. Diese detaillierte Interpretation wird vermutlich erst in 2026 durch das LBGR durchgeführt werden.

Die Projektlaufzeit ist auf 2025 beschränkt. Die erste Projektphase ist bereits abgeschlossen und die geophysikalische Vorplanung sowie das Konzept zur begleitenden Öffentlichkeitsarbeit sind ausgearbeitet. Der nächste Projektabschnitt hat im zweiten Quartal 2025 begonnen und wird voraussichtlich bis ins vierte Quartal 2025 reichen. Dabei nimmt das Permitting im zweiten und dritten Quartal den längsten Zeitraum in dieser Projektphase ein. Die eigentliche Messung mit den Vibro-Trucks und Geophonen wird lediglich wenige Wochen im dritten oder vierten Quartal einnehmen. Die Datenprozessierung erfolgt anschließend im vierten Quartal 2025 und eine Interpretation dieser Daten im ersten Quartal 2026 (Abb. 2).

Der ausgewählte Erkundungsstandort ist geologisch besonders interessant. Mit einer geplanten Erkundungstiefe von etwa 4 000 m soll die im Rahmen der geologischen Landesaufnahme durchgeführte 2D-seismische Kampagne neue Erkenntnisse zu den mesozoischen Nutzhorizonten im Deckgebirge liefern. Bei der angestrebten Erkundungstiefe wird zusätzlich erwartet, dass die Mächtigkeit, Verbreitung und Lage des Zechstein sowie des Rotliegend näher untersucht werden. Darüber hinaus sollen die Ergebnisse Aufschluss über die Oberkante des Grundgebirges und den tektonischen Aufbau der Region geben.

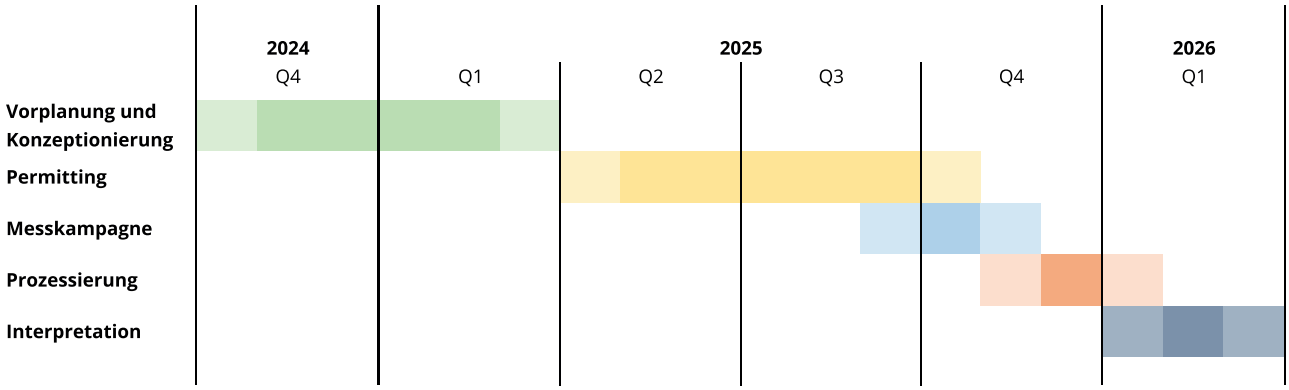


Abb. 2: Projektablauf der 2D-seismischen Erkundung im Bereich Cottbus und Guben

Die gewonnenen Daten können zudem genutzt werden, um potenzielle geothermische Ressourcen in der Region zu identifizieren. Insbesondere die Erkundung des mesozoischen Deckgebirges und des Rotliegend bieten wertvolle Informationen für die Nutzung von Geothermie, da diese geologischen Formationen häufig als geeignete geothermische Reservoire dienen. Zusätzlich kann die 2D-seismische Erkundung das Fündigkeitsrisiko im Umfeld des Messgebietes verringern.

Finanzierung

Finanziert wird die seismische Messkampagne durch die von der Bundesanstalt für vereinigungsbedingte Sonderaufgaben dem Land Brandenburg zugewiesenen Bundesmittel aus dem Vermögen der Parteien und Massenorganisationen der ehemaligen DDR (PMO-Vermögen). Diese Mittel wurden dem LBGR durch das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit, Energie und Klimaschutz (MWAEK) des Landes Brandenburg übertragen.

* Die Messkampagne ist am 14.10.2025 in Cottbus unter medialem Interesse angelaufen (rbb24 Brandenburg aktuell vom 15.10.2025).

Anschrift der Autoren:

Dr. Sebastian Weinert
Luisa Schreier
Dr. Thomas Höding
Dr. Birgit Futterer
Landesamt für Bergbau, Geologie
und Rohstoffe Brandenburg
Inselstraße 26
03046 Cottbus

Korrespondierender Autor:
Sebastian.Weinert@lbgr.brandenburg.de

Impressionen von den Öffentlichkeitsveranstaltungen zur 2D-seismischen Erkundung in der Niederlausitz

An der Lagune in Cottbus (6.10.2025)
mit Herrn S. Fritze (l. außen), Herrn E. Drewitz (2. v. l.),
Frau D. Mohaupt (3. v. l.), Herrn Minister D. Keller (4. v l.),
Frau Dr. B. Futterer (2. v. r.) und dem Seminarkurs Geografie
des Max-Steenbeck-Gymnasiums
(Foto: O. Bartl 06.10.2025)

Während der Infomärkte
am Max-Steenbeck-Gymnasium in Cottbus
(A. Schneider 26.09.2025)

In der Alten Färberei in Guben
(A. Schneider 29.09.2025)

Brandenburg. Geowiss. Beitr.	Cottbus	Bd. 32/2025	S. 161–166	6 Abb., 17 Lit.

Potenzielle Wiedernutzung von Altbohrungen aus Brandenburg für Geothermische Anwendungen (Transgeo Projekt) – Praktische Erwägungen

Katrin Sieron, Sebastian Weinert, Franz Vogel, Amirreza Abadi chalaksaraee & Thomas Höding

Einleitung

TRANSGEO, ein zurzeit noch aktives INTERREG (Interreg CE 2023) gefördertes EU-Projekt, befasst sich hauptsächlich mit der potenziellen Nachnutzung von den für die Kohlenwasserstoffexploration abgeteuften Bohrungen in Zentraleuropa (Hofmann et al. 2023). Geothermie oder Erdwärme gilt als erneuerbare Ressource und spielt daher als nachhaltige Energiequelle eine immer größere Rolle bei der derzeit stattfindenden Umstrukturierung der Energieversorgung von fossilen auf erneuerbare Energieträger. Im Laufe des Projektes soll das Potenzial existierender Bohrungen bewertet werden, was mithilfe eines Datenbank-basierten Web-Tool geschieht. Außerdem werden Machbarkeitsstudien in bestimmten Pilotregionen der teilnehmenden Länder durchgeführt, wobei auch die möglichen Techniken zur Geothermiegewinnung analysiert werden (z. B. anhand geologischer Gegebenheiten). Im letzten Jahr der Projektlaufzeit werden die ersten Ergebnisse den Stakeholdern vorgestellt. Zusätzlich wird ein Maßnahmenplan mit transnationaler Strategie erstellt, welcher die Grundlage zukünftiger Nachnutzungen bilden soll.

Das Norddeutsche Becken ist eines der Gebiete in Deutschland, das sich für eine Nutzung tiefengeothermischer Energien eignet (z. B. Agemar et al. 2014a). Brandenburg befindet sich, zusammen mit Mecklenburg-Vorpommern und einem Teil von Sachsen-Anhalt, im von Zentraleuropa überlappten Gebiet des Norddeutschen Beckens.

Datenstand

Der Geologische Dienst des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe (LBGR) fungiert im vom Geoforschungszentrum Potsdam (GFZ) geleiteten Projekt als Projektpartner und stellt unter anderem vorhandene Daten bereit. Die im LBGR für Altbohrungen verfügbaren Daten sind:

- Räumlich regionale Verteilung der Bohrpunkte,
- „Stammdaten“ der einzelnen Bohrungen (Koordinaten, Teufe etc.),
- geologische Schichtenverzeichnisse und Bohrlochmessungen der Bohrungen,
- Bohrakten, die Temperaturangaben, petrophysikalische Gesteinsparameter (wie Porosität und Permeabilität) oder auch chemische Analysen tiefliegender Schichten enthalten können,
- Übersichtsberichte oder Berichte, die Datenbestände zu bestimmten Themengebieten zusammenfassen (z. B. Geothermische Ressourcenberichte, Temperaturberichte),
- Tiefe und Verbreitung der für die Geothermie interessanten geologischen Schichten (3D-Modell, Karten) und
- Verfüllungsberichte.

Jedoch ist die Datenlage nicht für alle Bohrungen gleich. Während die regionale Verteilung der Bohrungen (Abb. 1) und die Stammdaten für alle Bohrungen bekannt sind, können andere Daten lückenhaft vorhanden sein. Viele Altbohrungen wurden in Erkundungskampagnen der 1950er bis 1980er Jahre abgeteuft, weshalb ein großer Teil der damit verbundenen Daten nach Geologiedatengesetz (GeolDG 2020) zugänglich ist.

Für die potenzielle Umnutzung sollten im Projekt TRANSGEO vor allem Erdöl- und Erdgasbohrungen betrachtet werden. Jedoch sind in Brandenburg auch Kohle-, Metall-, Salz-, Uranerkundungsbohrungen sowie auch einige tiefe Geothermiebohrungen (Abb. 2a) vorhanden. Auch das Alter der Bohrungen variiert stark (Abb. 2b).

Generell wurden nur Bohrungen mit mehr als 400 m Endteufe gewählt, worauf sich die Ausgangszahl von ca. 200 000 auf 1 126 Bohrungen reduziert. Ausnahme bildet die Pilotregion Lausitz, für die auch Bohrungen mit geringeren Teufen in Betracht gezogen wurden.

Von etwa 120 der identifizierten 1 126 Bohrungen sind gemessene Temperaturdaten in zusammenfassenden Berichten vorhanden (Fricke & Klapötke 1976; Hurtig 1992). Zusätzliche Daten können in den einzelnen Bohrakten noch zu finden sein. Zur Komplettierung des Datensatzes sind fehlende Temperaturangaben durch Werte der Temperaturkarten von GeotIS (Agemar et al. 2014b) ergänzt. Teil der Datengrundlage von GeotIS sind unter anderem die Geothermischen Ressourcenberichte (Diener et al. 1989–1992).

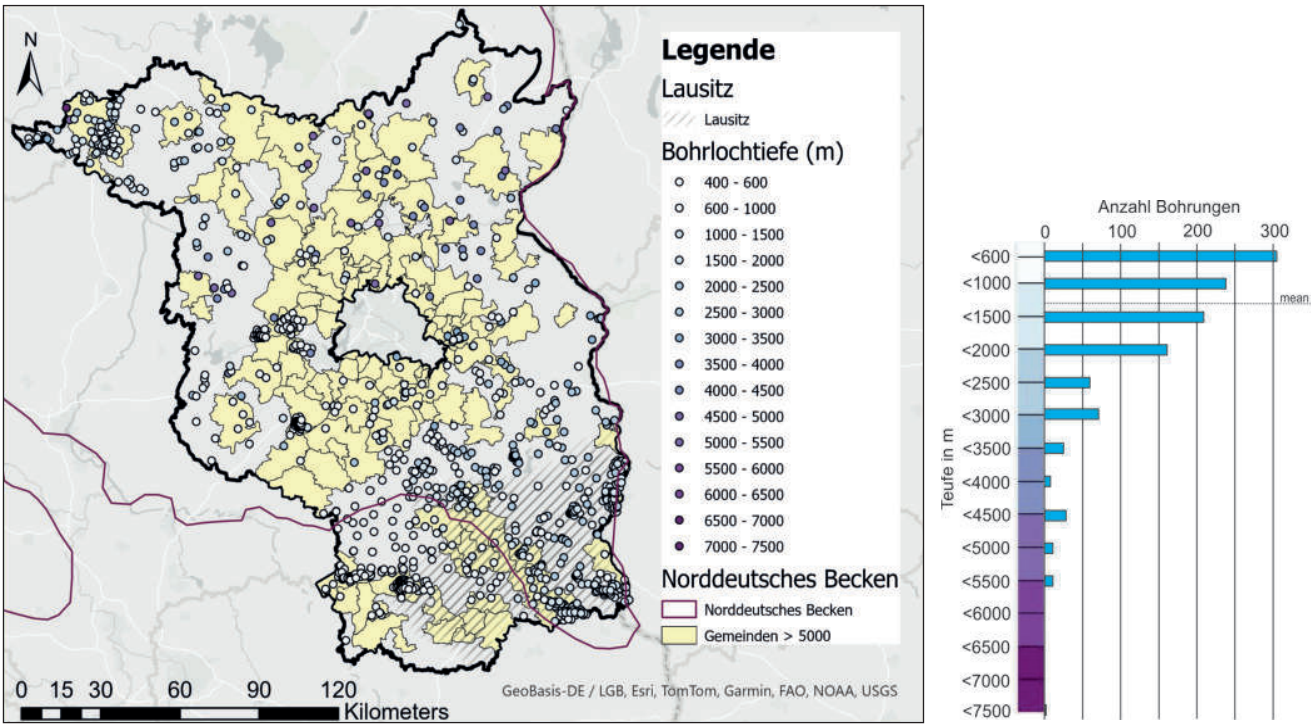


Abb. 1: Räumliche Verteilung der Tiefbohrungen in Brandenburg (Pilotregion Lausitz, Gemeinden mit mehr als 5 000 Einwohnern und Ausbreitung des Norddeutschen Beckens sind auch angegeben). Rechts: Verteilung der Bohrungen nach Teufe

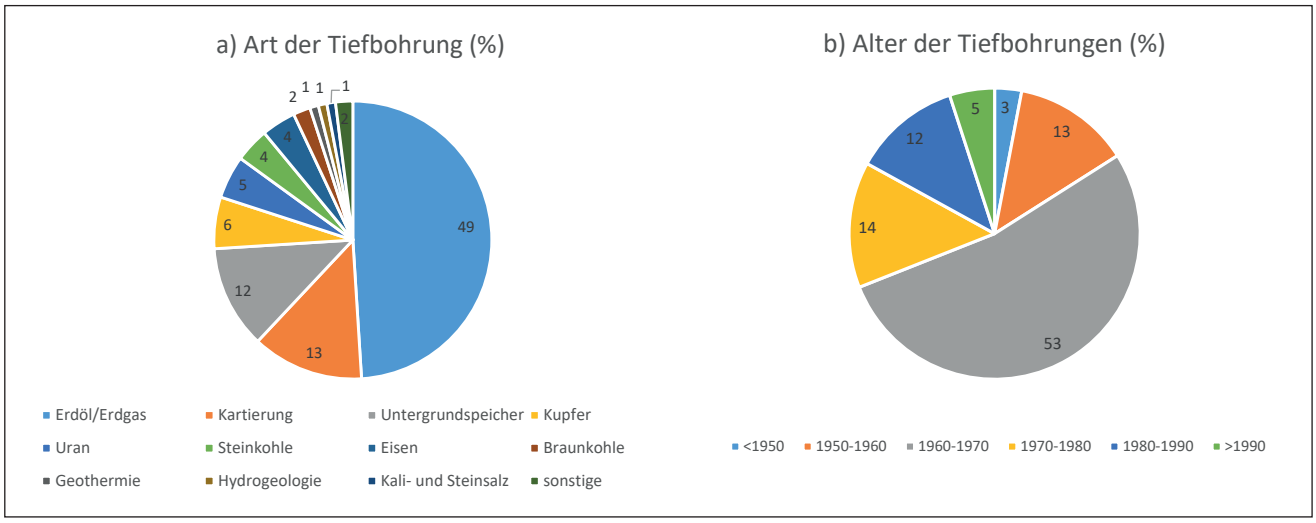


Abb. 2: a – Kreisdiagramm des prozentualen Anteils pro Bohrungsart der Tiefbohrungen, b – Kreisdiagramm des prozentualen Anteils pro Altersgruppe der Bohrungen (10-Jahres Schritte von <1950 bis >1990)

Aus diesen Berichten, die einen Großteil der petrophysikalischen Parameter zusammenfassen, sind die einzelnen Nutzhorizonte (payzones) geothermisch relevanter Formationen zusammengestellt. Von 413 Bohrungen liegen insgesamt 104 Porositätswerte und 21 Permeabilitätswerte vor (Abb. 3).

Technische Daten, wie beispielsweise Verfüllungsberichte, liegen nur für Erdöl/Erdgas-Bohrungen (Schretzenmayr 1998) vor. Dieser Datenbestand ist dem damaligen Bergamt in Brandenburg übergeben worden. Zu anderen Bohrungen liegen nur vereinzelt technische Daten in den Bohrakten oder zusammenfassenden Erkundungsberichten (z. B. einzelne Eisenbohrungen – Bach et al. 1967) vor. Aus etwa 150 Bohrakten konnten Verfüllungsdaten recherchiert und aufgenommen werden.

Verfüllungsberichte oder technische Daten in den Bohrakten sind wichtig, um offene Bohrungen zu identifizieren (Abb. 4). Weiterhin können aus diesen Daten vorhandene Zementbrücken und deren Teufenlage, Mächtigkeit sowie

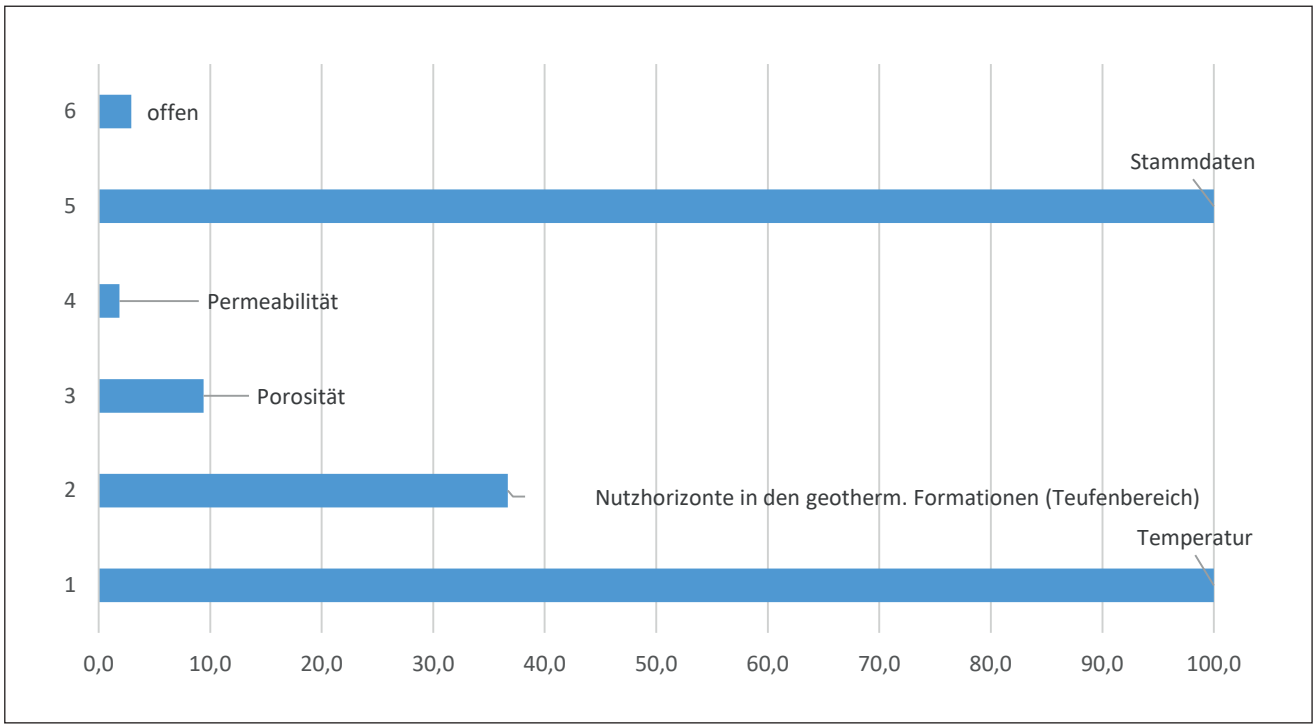


Abb. 3: Illustration des prozentualen Anteils von Daten einiger der wichtigen Parameter von Altbohrungen (Temperaturdaten: 10,66 % der 100 % wurden gemessen, der Rest interpoliert)

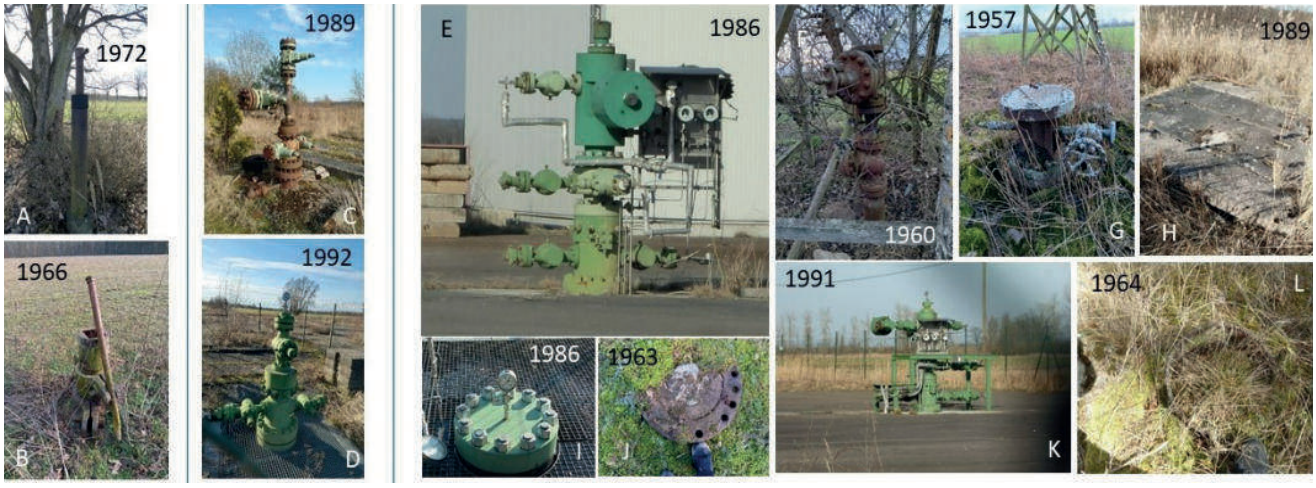


Abb. 4: Beispiele nicht verfüllter Bohrungen: A und B – Kupfer- bzw. Eisenerkundungsbohrungen; C und D – Geothermiebohrungen; E bis L – Erdöl/Erdgasbohrungen mit unterschiedlichem Erhaltungsgrad. Die in den Fotos abgebildete Jahreszahl ist das Jahr des Bohrbeginns.

Zwischenmaterial (z. B. Spülung) recherchiert werden (Abb. 5). Weiterhin kann aus den Ausbauplänen der Bohrlochdurchmesser entnommen werden, der für eine geothermische Nachnutzung entscheidend ist. Innerhalb des Projektes TRANSGEO werden mindestens 7 Zoll Bohrlochdurchmesser als notwendig erachtet.

Bei der Verfüllung, die beim überwiegenden Teil der Bohrungen vorgenommen wurde, ist in den meisten Fällen nicht durchgängig zementiert worden. Stattdessen wurden strategische Zementbrücken gelegt, und der Zwischenraum mit Spülung (meist Bentonit), Wasser oder anderen Materialien (Abb. 5) verfüllt.

Vorauswahl – praktische Erwägungen

Von den von TRANSGEO in Betracht gezogenen Tiefbohrungen sind vor allem offene, im Sinne von unverfüllten Bohrungen interessant. Aber auch das Alter der

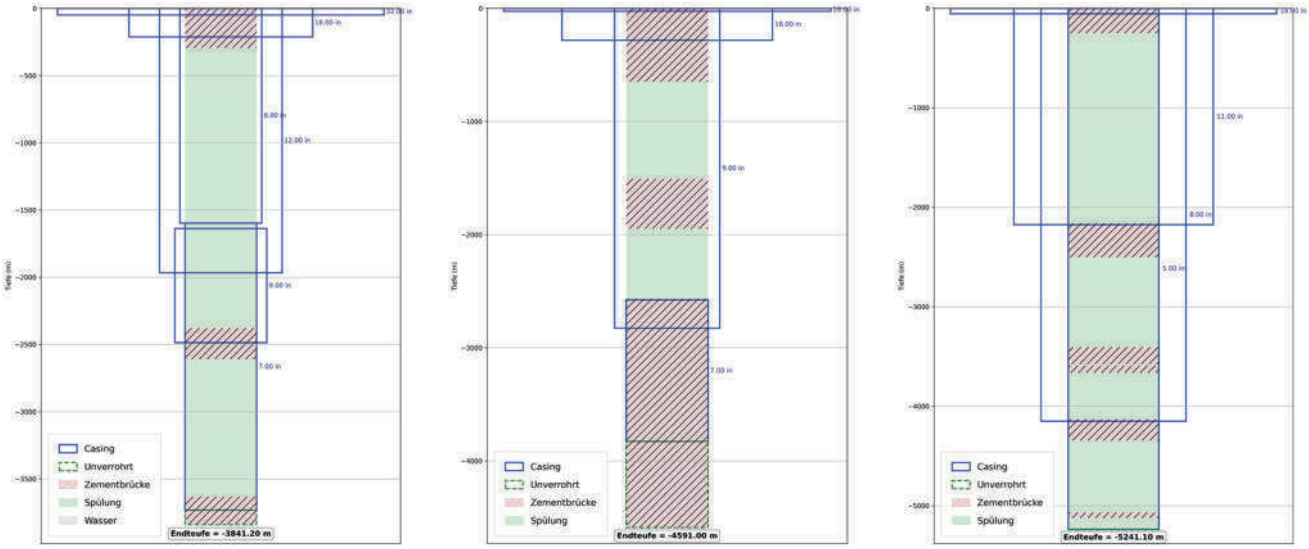


Abb. 5: Skizzen einiger verfüllter Bohrungen (links Chorin 1, Mitte Kotzen 5, rechts Gransee 2) mit im Verfüllungsbericht angegebenen Teufen der Zementbrücken sowie der Durchmesser der verbliebenen Rohrtouren

Bohrung ist wichtig. Im Projekt wurde angenommen, dass Bohrungen älter 30 Jahre meist in einem schlechten Zustand sind. Aber wichtiger ist wohl der Zeitraum der Nichtnutzung (Abandonnements), wie man am Beispiel zweier im Jahr 1986 abgeteufter Bohrungen sehen kann (Abb. 4).

Von den circa 33 offenen Bohrungen, die zum überwiegenden Teil Erdöl/Erdgas-Bohrungen sind, befinden sich nur etwa 7 in einem optisch guten Zustand. Auch 4 Geothermiebohrungen kommen für eine Wiedernutzung in Frage. Alle anderen Bohrungen müssten zuerst gründlich auf ihre Integrität geprüft werden, um dann eventuell eine Wiederherstellung des Bohrlochs vornehmen zu können.

Natürlich dürfen auch die bergrechtlichen Aspekte der Bohrungsnachnutzung nicht vernachlässigt werden, wobei sich folgende Fragen aufwerfen:

- Steht die zu betrachtende Bohrung unter Bergrecht?
- Welche Rechte kommen dem Flächeneigentümer zu?
- Wie sind Haftungsfragen geregelt bzw. wie sollten diese künftig geregelt werden um eine Nachnutzung alter Bohrungen zu vereinfachen?

Die Mehrzahl der verfüllten und an der Oberfläche nicht mehr erkennbaren Altbohrungen müssten für eine Wiedernutzung anhand der Stammdaten aufgefunden, eine Wiedernutzbarmachung (workover) abgeschätzt (Kostenvergleich zu einer Neubohrung, Lage der Zementbrücken respektive der geothermischen Nutzhorizonte) und gründlich überholt werden. Der weitaus größte und unmittelbare Nutzen der Altbohrungen sind jedoch die Daten, die auf Plattformen wie GeotIS Nutzer-gerecht dargestellt werden. Genaue Kenntnisse der Verbreitung der Nutzhorizonte (Beispiel Abb. 6, links), deren Porositäts- und Permeabilitätswerte sowie Temperaturen stellen die Basis für eine Planung jedes Geothermievorhabens dar (Abb. 6, rechts).

Im IT-Tool des TRANSGEO Projektes werden neben den technischen Daten auch die Distanzen von den potenziell nutzbaren Altbohrungen zu den Abnehmern (Industrie, Agrikultur, Gemeinden), die vorhandene Infrastruktur sowie zu schützende Flächen gekennzeichnet, um Investoren die Vorauswahl zu erleichtern.

Abschließend muss bemerkt werden, dass auch ein großer Teil der Altbohrungen möglicherweise aufgrund ihres Alters, des früheren Nutzens, des damals verwendeten technischen Ausbaus oder der Eigentumsverhältnisse letztlich nicht wiederverwendet werden kann. Dennoch sind die mit früheren Bohrungen verbundenen Daten und Erfahrungen von unschätzbarem Wert. Diese Daten können verwendet werden, um das geothermische Potenzial eines Standortes abzuschätzen oder sogar das Fündigkeitsrisiko zu senken. Sehr wertvoll sind in diesem Zusammenhang die geologischen Gegebenheiten und eventuell in Bohrakten vermerkte Schwierigkeiten damaliger Projekte. Von unschätzbarem Wert ist aber auch das geologische Material, welches aus früheren Bohrungen gewonnen wurde und im Bohrkern- und Probenarchiv aufbewahrt wird (Göthel 2014).

Danksagung

Das Projekt TRANSGEO als Teil des Interreg CENTRAL EUROPE Programms für die transnationale europäische Zusammenarbeit im Programmraum Mitteleuropa in der Förderperiode 2021–2027 wird gefördert durch die Europäische Union.

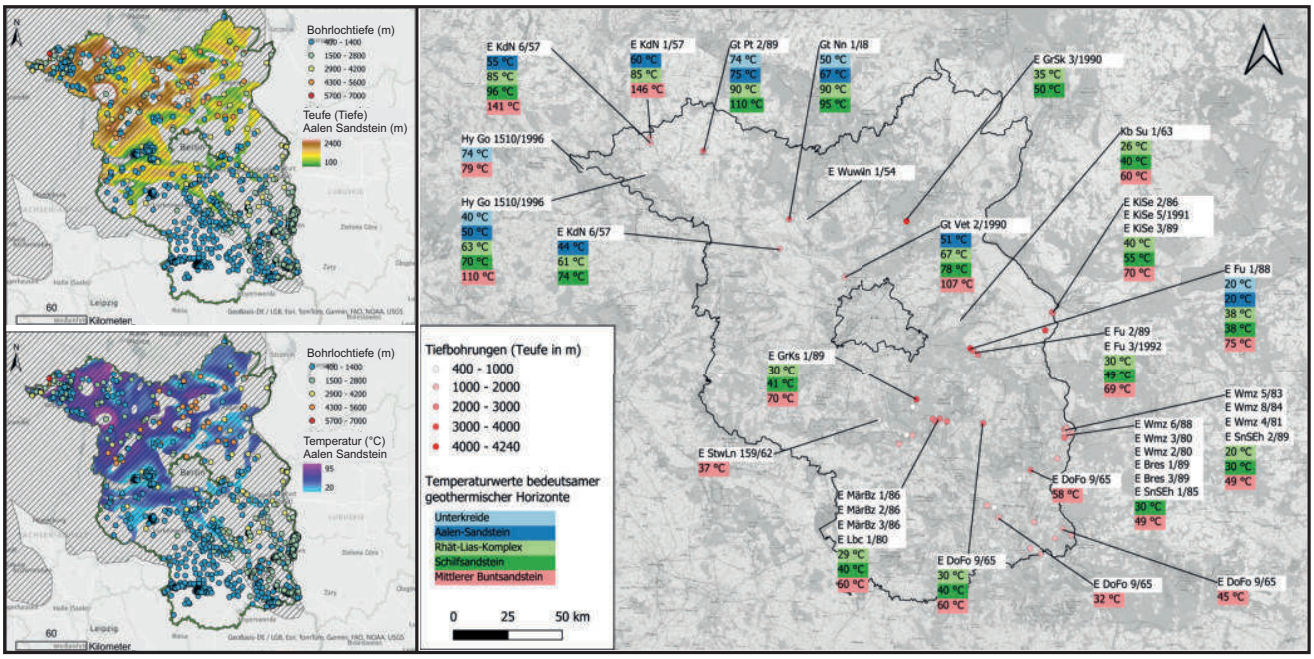


Abb. 6: Tiefe- und Temperaturvariationen für die Beispielformation Aalen-Sandstein (links). Offene Bohrungen mit Angaben der Temperaturen in den jeweiligen für die Geothermie interessanten Formationen (rechts)

Literatur

Agemar, T., Weber, J. & R. Schulz (2014a): Deep geothermal energy production in Germany. – Energies **7**, 7, S. 4397–4416

Agemar, T., Alten, J., Ganz, B., Kuder, J., Kühne, K., Schumacher, S. & R. Schulz (2014b): The Geothermal Information System for Germany – GeotIS. – ZDGG **165**, 2, S. 129–144

Bach, D. Autorenkollektiv (1967): Ergebnisbericht und Vorratsberechnung über die Suche und Vorerkundung auf sedimentäre Eisenerze im Malm der Westlichen Prignitz 1961. – Bericht VEB Geologische Erkundung Nord Schwerin, 322 S. (unveröff.)

Diener, I., Tesch, M. & G. Pasternak (1992): Geologische Grundlagen für die Geothermienutzung in Nordost-Deutschland – Blatt Finsterwalde/Cottbus. – Bericht UWG GmbH Berlin, 16 S. (unveröff.)

Diener, I., Wormbs, J., Pasternak, G., Stollberg, K., Tesch, M., Tessin, R. & R. Toleikis (1991): Geologische Grundlagen für die Geothermienutzung in Nordostdeutschland (Kartenwerk 200 000) – Blatt Magdeburg/Brandenburg. – Bericht UWG GmbH Berlin, 86 S. (unveröff.)

Diener, I., Pasternak, G., Stollberg, K., Tesch, M., Tessin, R., Toleikis, R. & J. Wormbs (1990): Geologische Perspektivitätsbewertung für die Geothermienutzung in Nordostdeutschland – Blatt Berlin-Frankfurt Oder. – Bericht, UWG GmbH Berlin, 64 S. (unveröff.)

Diener, I., Wormbs, J., Rusitzka, I., Pasternak, G., Tesch, M., Toleikis, R., Tessin, R., Trottner, D. & G. Urlacher (1989): Geothermische Ressourcen im Nordteil der DDR (II) – Blatt Neubrandenburg-Torgelow. – Abschlussbericht (Teilergebnis) ZGI Berlin, 46 S. (unveröff.)

Diener, I., Wormbs, J., Rusitzka, I., Pasternak, G., Toleikis, R., Tessin, R. & D. Trottner (1990a): Geothermische Ressourcen im Nordteil der DDR (II) – Blatt Eberswalde/Bad Freienwalde. – Abschlussbericht (Teilergebnis) ZGI Berlin, 49 S. (unveröff.)

Diener, I., Wormbs, J., Rusitzka, I., Pasternak, G., Toleikis, R., Tessin, R. & D. Trottner (1990b): Geothermische Ressourcen im Nordteil der DDR (II) – Blatt Wittenberge. – Abschlussbericht (Teilergebnis) ZGI Berlin, 75 S., 31 Anl. (unveröff.)

Diener, I., Pasternak, G., Rusitzka, I., Stollberg, K., Tessin, R. & J. Wormbs (wiss Red. R. Katzung) (1988): Geothermische Ressourcen im Nordteil der DDR (II) – Blatt Neuruppin. – Abschlussbericht (Teilergebnis) ZGI Berlin, 60 S. (unveröff.)

Fricke, S. & N. Klapötke (1976): Ergebnisse von Temperaturmessungen in Nordostbrandenburg und angrenzenden Gebieten. – Bericht VEB Geophysik Leipzig, 34 S. (unveröff.)

GeolDG (2020): Gesetz zur staatlichen geologischen Landesaufnahme sowie zur Übermittlung, Sicherung und öffentlichen Bereitstellung geologischer Daten und zur Zurverfügungstellung geologischer Daten zur Erfüllung

öffentlicher Aufgaben. – Erlassen am 19. Juni 2020, BGBl. I, S. 1387 ff.

Göthel, M. (2014): Das Bohrkern- und Probenarchiv des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg in Wünsdorf – die Lithothek zur Rohstoffsicherung Brandenburgs. – Brandenburg. geowiss. Beitr. **21,** 1/2, S. 27–30

Hofmann, H., Friddell, J., Höding, T., Herrmann, R., Hölzel, M., Philipp, R., Márton, G., Borkovits, B., Bödi, K., Drk Hutinec, K., Kurevija, T., Vogrincic, B. & I. Sass (2023): TRANSGEO–Transforming abandoned wells for geothermal energy production. – Extended abstract The German Geothermal Congress 2023 Essen, Germany (https://www.der-geothermiekongress.de/Tagungsband2023/)

Hurtig, E. (1994): Temperaturkurven, Temperaturwerte im Abstand von 50 m und Grobstratigraphie für die Bohrungen mit kontinuierlichen Bohrlochtemperaturmessungen. – Bericht, 330 S., Brandenburg, Potsdam (unveröff.)

INTERREG CE (2023): Programmstrategie. *Europa durch die transnationale Zusammenarbeit näher an die Bürger bringen.*– http://interreg-central.de/programm/programmstrategie.de *zuletzt zugegriffen am 22.09.2023

Schretzenmayr, S. (1998): Erdöl-Erdgas-Exploration in Brandenburg – Historie, Ergebnisse, Kenntnisgewinn. – Brandenburg. geowiss. Beitr. **5**, 2, S. 9–18

Interreg CENTRAL EUROPE
Co-funded by the European Union
TRANSGEO

Anschrift der Autoren:

Dr. Katrin Sieron
Dr. Sebastian Weinert
Franz Vogel
Amirreza Abadi Chalaksaraee
Dr. Thomas Höding
Landesamt für Bergbau, Geologie
und Rohstoffe Brandenburg
Inselstraße 26
03046 Cottbus

Korrespondierender Autor:
Katrin.Sieron@lbgr.brandenburg.de

KURZMITTEILUNGEN

Brandenburg. Geowiss. Beitr.	Cottbus	Bd. 32/2025	S. 169–172	2 Abb., 7 Lit.

Auf den Spuren der Salinarstrukturen. Tagungsbericht zum Salinarworkshop 2024 des LBGR

Thomas Höding

Am 12. Juni 2024 fand im Bohrkern- und Probenarchiv des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe (LBGR) in Wünsdorf ein Arbeitstreffen zur Diskussion über Salzstrukturen in Norddeutschland statt, von den Organisatoren und Teilnehmern kurz und bündig als „Salinarworkshop“ bezeichnet.

Teilnehmer waren in erster Linie Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von Geologischen Diensten Norddeutschlands sowie verschiedener Forschungseinrichtungen, die sich mit der Aufklärung von Strukturen und Ablagerungen des tieferen Untergrundes des Norddeutschen Beckens beschäftigen (Abb. 1). Besonders erfreut waren die Organisatoren, Herrn Dr. Reinhard Gast aus Schleswig-Holstein als jahrzehntelangen profunden Kenner des norddeutschen Salinars begrüßen zu können, der das Programm auch mit einem Vortrag bereicherte.

Die Veranstaltung verfolgte vor allem das Ziel, die verschiedenen Arbeitsschwerpunkte und Handlungsnotwendigkeiten in Hinblick auf das Zechsteinsalinar des Norddeutschen Beckens aus den doch recht unterschiedlichen Sichtwinkeln der am Workshop Beteiligten darzustellen, wobei das Norddeutsche Becken stets der verbindende Rahmen blieb.

Eine fachliche Einführung in die Thematik gaben Dr. Birgit Futterer (Leiterin des Geologischen Dienstes Brandenburg) und der Verfasser. Dabei wurde insbesondere die Bedeutung des Zechsteinsalinars für Brandenburg herausgearbeitet. Auch wenn dieses zu großen Teilen erst tief unter der Erdoberfläche Brandenburgs zu finden ist, so wirkte und wirkt es doch in starkem Maße auf die naturräumlichen Gegebenheiten des Landes sowie auf die wirtschaftlichen Aktivitäten des Menschen ein:

Abb. 1: Teilnehmer des Salinar-Workshops in den Räumlichkeiten des Bohrkern- und Probenarchivs des LBGR in Wünsdorf

Dies lässt sich schon daran erkennen, dass im Untergrund Brandenburgs (einschließlich Berlins sowie grenzübergreifend benachbarter Bundesländer) nicht weniger als 24 Salzstöcke, 50 Salzkissen, 12 Halbsalzkissen und 9 Strukturelle Hochlagen der Zechsteinoberfläche gezählt werden (Beer 2000). Das durch diese Strukturen verursachte Durchdringen salziger Wässer bis zur Erdoberfläche äußerte sich u. a. in ca. 60 historisch bekannten Salzstellen. Aus einigen von ihnen wurde vom 16. Jahrhundert an bis ins 18. Jahrhundert hinein Salz gewonnen.

Die Hebung der Salinarstrukturen von Sperenberg (Landkreis Teltow-Fläming) und Rüdersdorf (Landkreis Märkisch-Oderland) machte erst die dortigen Rohstoffabbaue möglich, die Gipsgewinnung in Sperenberg vom 12. Jahrhundert bis 1958 und die Kalksteingewinnung in Rüdersdorf seit dem 13. Jahrhundert bis heute. Weiterhin sind ca. 30 zechsteingebundene Kohlenwasserstofflagerstätten (vor allem in Südostbrandenburg) zu nennen sowie die später in Randsenken entstandenen Braunkohlenlagerstätten (z. B. Mittenwalde).

Derzeit werden Salze des Zechstein für die Gasspeicherung in Kavernen genutzt (z. B. Rüdersdorf), die Speicherung von Wasserstoff in Kavernen wird aktuell getestet.

Schließlich soll noch erwähnt werden, dass die Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) acht Salzstöcke in Brandenburg als „Teilgebiete“ ausgewiesen hat. Das LBGR hat in einer fachlichen Stellungahme eine Eignung dieser Salinarstrukturen für eine Endlagerung hochradioaktiver Abfälle ausgeschlossen (LBGR 2021), nichtsdestotrotz befinden sie sich derzeit noch im Untersuchungsrepertoire der BGE.

Diese Fakten stellten den Rahmen der auf dem Workshop zu diskutierenden Fragen dar, von denen auch nur einige wenige herausgepickt werden sollen:

- Sind die Aufstiegsbewegungen einiger Salinarstrukturen anhaltend?
- Wie ist ihr Langzeitverhalten einzuschätzen?
- Wie untersuchen und beschreiben die Geologischen Dienste die Scheiteleinbrüche von Salinarstrukturen?
- Welche Auswirkungen haben sie gegebenenfalls auf die Trinkwassergewinnung?
- Welche künftigen Nutzungsmöglichkeiten bietet das Zechsteinsalinar?
- Wie ist der Stand der Diskussion um die stratigraphische Grenze zwischen Zechstein und Buntsandstein?
- Wie kann eine möglichst naturgetreue Konturierung von Salinarstrukturen in der 3D-Modellierung der geologischen Dienste gelingen (vgl. Weinert & Höding 2024)?

Die Vortragenden stiegen anschließend in die Details dieser Fragestellungen ein und stellten sich nachfolgend einer ausführlichen Diskussion.

Der Vortrag von Michael Göthel (Geologischer Dienst im LBGR, Ideengeber und Hauptorganisator dieses Workshops) und Jasmin Pikelke behandelten „Die tektonische Stockwerksgliederung in der Norddeutsch-Polnischen Senke mit ihren Salinaren und Salzstrukturen“. Dabei wurden aktuelle thematische Karten und Schnitte gezeigt und insbesondere die Lithologie und Stratigraphie der Zechsteingruppe mit dem Zechsteinsalinar dargestellt sowie die verschiedenen Salzstrukturtypen vorgestellt. Zudem gab es Ausführungen zur angenommenen ursprünglichen Salzmächtigkeit im Norddeutschen Becken und zu Prozessen der Salztektonik. Von besonderem Interesse war die Vorstellung von sogenannten Schildkrötenstrukturen im Suprasalinarstockwerk und die Ausführungen des Vortragenden zu Diapirrandsenken im Suprasalinarstockwerk (siehe auch Göthel 2020).

In einem weiteren Vortrag ging Michael Göthel auf „Beispiele halokinetischer und halotektonischer Strukturen in Brandenburg einschließlich des Salzkissens Rüdersdorf als Untiefe im Unteren Muschelkalk“ ein. Hier wurden ausgewählte Salinarstrukturen ausführlich vorgestellt und dabei die Bedeutung der reflexionsseismischen Horizonte hervorgehoben (siehe auch Göthel 2016 sowie Pikelke et al. 2023). Hervorhebenswert erwiesen sich seine Ausführungen zur Intrasalinartektonik (dargestellt an der Salzstruktur Gorleben-Rambow, Niedersachsen und Landkreis Prignitz in Brandenburg) und zu einer neuen Interpretation der geologischen Erkundungsergebnisse zur Struktur Viesen-Lehnin (Landkreis Potsdam-Mittelmark).

Dr. Reinhard Gast benannte seinen Vortrag „Zechstein in Schleswig-Holstein – bewaldete Inseln inmitten des epikontinentalen Zechstein-Meeres“ und berichtete über spannende paläogeographische Erkenntnisse zu Inseln und Untiefen im basalen Zechstein über Salzkissen des Oberrotliegendsalinars. Er referierte ausführlich über die Faziesverteilung im Staßfurt-Karbonat und seinen Äquivalenten. Besonderen Raum nahm die Darstellung der geologischen Untersuchungen am Steinbruch Lieth ein (Kreis Dithmarschen in Schleswig-Holstein). Hier wurde 1844 beim Bau der ersten Eisenbahnstrecke in Schleswig-Holstein der Salzstock Lieth angeschnitten und in der Folgezeit Rotliegendtone zur Ziegelherstellung und verwitterter Zechsteinkalk zur Herstellung von Düngemitteln und für den Straßenbau gewonnen. Der Bergbau wurde 1986 eingestellt, seit 2006 ist der Steinbruch „Nationales Geotop“. Eine Besonderheit des Steinbruchs Lieth ist der dortige Nachweis einer Insel inmitten des Zechsteinmeeres.

Dr. Melanie Siegburg (Geologischer Dienst im Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt) stellte die „Salzstrukturen in Sachsen-Anhalt“, zusammengeführt in einem Salzstruktur-Informationssystem vor. In diesem Informationssystem wurden Daten der Salzstöcke Sachsen-Anhalts nach einer einheitlichen Methodik aufbereitet und in Form von Steckbriefen dargestellt.

Dazu wurden Kriterien zur Geometrie, Geologie, Aktivität, Tektonik, zum Erkundungsstand und zur zeitlichen Entwicklung der Strukturen erfasst, die teilweise bereits aus älteren Studien und Untersuchungen vorlagen. Darüber hinaus fand eine vollumfängliche Einbeziehung und Überprüfung von Bohrungsinformationen, der Lage von Seismikprofilen und von Schweredaten im Bereich der Salzstöcke statt. Besonders anschaulich wirkt die Einbeziehung der 3D-modellierten Salinarstruktur-Konturen in die Steckbriefe. Künftig ist unter Beibehaltung der entwickelten Methodik eine Erweiterung des Informationssystems mit den Daten weiterer Salinarstrukturen des Landes vorgesehen.

Aufbau, Inhalt und Form dieses Informationssystems können durchaus als beispielhaft für andere Geologische Dienste mit Wirkungsbereich im Norddeutschen Becken gelten, insbesondere auch als Argumentationshilfe bei den Diskussionen um ein eventuelles atomares Endlager in Salinarstrukturen. Die Inhalte dieses Salzstruktur-Informationssystems sind inzwischen publiziert worden (Siegburg et al. 2024).

In zwei Vorträgen ging Christoph Jahnke (Geologischer Dienst im Landesamt für Umwelt, Natur und Geologie Mecklenburg-Vorpommern) zunächst auf die „Mineralogie und Geochemie mariner Salze“ ein und lieferte damit sozusagen das chemische und geochemische Handwerkszeug zur geowissenschaftlichen Betrachtung des Salinars, wobei Sachverhalten zum Chemismus des Zechsteinsalinars themengerecht natürlich eine prädestinierte Rolle zukam.

In einem zweiten Vortrag berichtet er über „Hydrogeologie und Subrosion im bergbaulich gestörten Salinar- und Suprasalinar-Stockwerk am Beispiel des Staßfurt-Egelner Sattels“ in Sachsen-Anhalt. Hier machen sich die Auswirkungen der Ablaugung von Zechsteinsalzen an der Erdoberfläche deutlich bemerkbar und erfordern zu ihrer Beherrschung bzw. zur Abminderung der Auswirkungen der Subrosion bedeutende ingenieurgeologische Anstrengungen.

Die Ausrichtung des Salinar-Workshops am Standort des Bohrkern- und Probenarchivs des LBGR in Wünsdorf zeitigte zwei nicht zu unterschätzende Vorteile. Zum einen war in dieser Umgebung die ungeteilte Aufmerksamkeit der Teilnehmer auf das Geschehen der intensiven Arbeitstagung gegeben, was sich sehr positiv auf die ausführliche und angeregte fachliche Diskussion auswirkte.

Zum anderen bot sich die Lokalität ja geradezu dazu an, ergänzend zu den Vorträgen salinartektonische Strukturen direkt am in Wünsdorf archivierten Bohrkernmaterial zu studieren (Abb. 2). Dementsprechend lagen Bohrkerne aus dem Zechsteinsalinar mit intrasalinartektonischen Strukturen zur Betrachtung und fachlichen Diskussion auf der Auslegestrecke bereit, neben anderen vor allem aus der Bohrung Ug MwaKWh 4/75.

Das „Arbeitstreffen zur Diskussion über Salzstrukturen in Norddeutschland“ ordnete sich in eine lockere Reihe ähnlicher Veranstaltungen am selben Ort ein, die insbesondere auf die Fragestellungen und Arbeiten der Geologischen Dienste der norddeutschen Bundesländer abzielen. Organisatoren und Teilnehmer waren sich einig darüber, dass eine Fortsetzung dieser Workshop-Reihe anzustreben ist.

Abb. 2: Fachliche Diskussion an Kernstrecken aus dem Zechsteinsalinar Brandenburgs mit intrasalinartektonischen Strukturen

Literatur:

Beer, H. (2000): Geologische Übersichtskarte des Landes Brandenburg, Tiefenlinienkarte der Zechsteinoberfläche 1 : 300 000. – Karte und Erläuterungen, Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe (LBGR), Kleinmachnow

Göthel, M. (2016). Lithologische Interpretation und stratigraphisches Niveau der reflexionsseismischen Horizonte im Untergrund Brandenburgs einschließlich Berlins. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **23**, 1/2, S. 85–90

Göthel, M. (2020): Die lithostratigraphischen Einheiten des Zechstein – Fortschritte aus Neubewertungen von Erkundungsergebnissen Brandenburgs (Deutschland) im Vergleich zu benachbarten Regionen. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **27**, 1/2, S. 5–25

LBGR (2021): BGE-Zwischenbericht Teilgebiete (28.09.2020), Stellungnahme des Staatlichen Geologischen Dienstes von Brandenburg vom 01.06.2021. – URL: https://www.bge.de/fileadmin/ user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Fachdiskussionen/Stellungnahmen/Fachstellungnahmen/2021-06-01_Stellungnahme_LBGR__Zwischenbericht_Teilgebiete__Anlage_zu_Anschreiben_vom_01.06.2021_barrierefrei.pdf

Siegburg, M., Müller, C. O., Schönburg, G. & A. Malz (2024): Salzstrukturinformationssystem für die Salzstöcke in Sachsen-Anhalt. – Mitteilungen zu Geologie und Bergwesen von Sachsen-Anhalt **23**, S. 55–86

Pikelke, J., Weinert, S. & T. Höding (2023): Karten der Reflexionsseismischen Horizonte des Landes Brandenburg 1 : 300 000 – Ableitungen aus dem 3D-Modell Brandenburg (B3D). – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **30**, S. 85–90

Weinert, S. & T. Höding (2024): 3D-Modelle des tieferen Untergrundes im Geologischen Dienst Brandenburg. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **31**, S. 161–162

Brandenburg. Geowiss. Beitr.	Cottbus	Bd. 32/2025	S. 173–176	2 Abb., 9 Lit.

Die traditionelle 1.-Mai-Exkursion des Vereins „Geowissenschaftler in Berlin und Brandenburg“ am 01.05.2024: Geologie des Saaletals zwischen Rothenburg und Wettin

Konrad Schuberth & Ute Gebhardt

Der 1. Mai ist für die Mitglieder des Vereins „Geowissenschaftler in Berlin und Brandenburg“ ein traditioneller Exkursionstag. 2024 ging es nach Sachsen-Anhalt, in das Gebiet des Naturparks „Unteres Saaletal“. Die abwechslungsreichen geologischen und geomorphologischen Verhältnisse zwischen Rothenburg und Wettin (Kriebel & Martiklos 1995, Villwock & Porada 2016) und das freundliche Wetter lockten 45 Interessenten in die 10 km nördlich von Halle (Saale) gelegene Gegend.

Die Leitung der Exkursion lag in den Händen von Angehörigen des Geologischen Dienstes im Landesamt für Geologie und Bergwesen (LAGB) Sachsen-Anhalt, des Abteilungsleiters Geologie, Dr. Bodo-Carlo Ehling, und dessen Mitarbeiterin Dr. Ute Gebhardt.

Nachdem Bus und Pkws um 10.15 Uhr in Rothenburg eingetroffen waren, erhielten die Teilnehmer Informationsmaterial – das Typoskript eines 14-seitigen Exkursionsführers sowie den erst kürzlich, zum Tag des Geotops 2023, veröffentlichten Flyer über das Durchbruchstal der Saale (Schuberth & Rappsilber 2023). Die Vereinsvorstände Dr. Angela Ehling und Dr. Hagen Feldrappe begrüßten nun auch die aus der Region Halle hinzugekommenen Teilnehmer und gaben Erläuterungen zum Tagesablauf.

Zunächst wurde der erste Exkursionspunkt erklommen, die rund 20 m hohe, flache Schlackenhalde Rothenburg. Sie zeugt von dem hier schon seit dem 15. Jahrhundert belegten Bergbau auf Kupferschiefer. Dr. Ehling erläuterte die geologischen und montanhistorischen Hintergründe. Rohstoffbasis waren Ausbissbereiche des Kupferschieferflözes am Nordostrand der Mansfelder Mulde bei Könnern, Strenznaundorf, Dobis und Wettin. Die erste Schmelzhütte für Kupferschiefer wurde 1413 erbaut. Berg- und Hüttenwesen hatten eine wechselvolle Geschichte. Während die wirtschaftliche Tätigkeit im 30-jährigen Krieg fast völlig zum Erliegen kam, florierte sie im Anschluss erneut, bevor der Bergbau 1775 wegen Wassereinbrüchen und geringer Metallgehalte des Flözes eingestellt wurde. Der Hüttenbetrieb endete 1819. Auf der Schlackenhalde platzierte Informationstafeln des Vereins „500 Jahre Industriegeschichte Rothenburg an der Saale e. V.“ sowie dessen 2013 eröffnete, aber aus Zeitgründen diesmal nicht besuchte Ausstellung in der ehemaligen Schule veranschaulichen diese wechselvolle Historie.

Neben dem Berg- und Hüttenwesen etablierte sich auch die Verarbeitung des Metalls. Nach 1800 wurden unter anderem ein Kupferhammer und ein Kupferwalzwerk (1820), eine Eisengießerei (1844), ein Messingblechwerk (1890) und eine Stanzerei (1890) errichtet. In den 1930er-Jahren entstand eine Munitionsfabrik. Bis heute ist Rothenburg ein wichtiger Industriestandort. Das unterhalb der Halde auf einem Saale-Mäander gelegene Drahtseilwerk der Westfälischen Drahtindustrie GmbH wurde 1938 gegründet, ist der bedeutendste Arbeitgeber der Umgebung und liefert seine Produkte in alle Welt.

Nach dem Sammeln von Schlackeproben ging es unter Führung von Dr. Gebhardt talab zum Fähranleger. Dort wird der steile, 800 m lange und 70 m hohe Osthang der Saale von dunkelroten Gesteinen bestimmt und ist Typlokalität der bis zu 700 m mächtigen Rothenburg-Formation (Karbon, Stefan B). Leider wurden Teile des Profils (Geotop 4336-02) im Zuge der Hangsicherung nach Felsstürzen durch Spritzbeton verhüllt. Nichtsdestotrotz ist hier ein instruktiver Aufschluss vorhanden, der in Korrelation mit den Tiefbohrungen Schladebach (1882) und Querfurt 1/64 Einblicke in die zyklische Gliederung der Ablagerungen gibt und detailreiche paläogeographische Interpretationen ermöglicht (Gebhardt 1988, 2023). Es steht eine Wechselfolge von Quarzit-Kieselschiefer-Konglomeraten mit kaolin- und glimmerhaltigen Sand- und Schluffsteinen an. Genetisch handelt es sich um Abtragungsschutt des Variszischen Gebirges, der unter semiariden Bedingungen durch zeitweise aktive Flüsse abgelagert wurde. An der Obergrenze der fünf aufgeschlossenen, 10 bis 30 m mächtigen Sohlbankzyklen treten jeweils karbonatische Bodenbildungen auf, z. T. kommen Ablagerungen von kleinen temporären Seen vor. Im höchsten Hangbereich steht die überlagernde Siebigerode-Formation (Oberkarbon, Stefan C) an.

Zu Fuß ging es nun 1 km saaleaufwärts in das Tal des Nussgrundes. An dessen Nordhang, gegenüber einer imposanten Skisprungschanze, liegt der „Werderbruch“

(Geotop 4336-11). Dieser gigantische Steinbruch wurde schon um 1800 betrieben und erst nach 1945 aufgelassen. Aufgeschlossen ist der tiefste Teil der über der Rothenburg-Formation lagernden Siebigerode-Formation. Die zyklisch abgelagerten, festen, rötlich- bis violettbraunen Feinsandsteine und Schluffsteine wurden als Werksteine für Gebäude, für den Wasserbau und zur Herstellung von Mühlsteinen genutzt. Sie sind nicht nur in Rothenburg, sondern bis in den Raum Berlin/Potsdam verbaut und wurden auch durch Fossilfunde berühmt (u. a. verkieselter Baumstamm, Bergung ca. 1822; Fritsch 1888). Dr. Gebhardt erläuterte die Situation an Hand der Aufschlusswände und mit Hilfe von angeschliffenen Handstücken.

Nach dem Rückmarsch nach Rothenburg und einer kurzen Busfahrt über das Gelände des bei Wettin gelegenen Schachtberges mit Dutzenden von Kleinhalden des historischen Steinkohlenbergbaus (Geotop 4336-04) wurde das kleine Dorf Dobis erreicht. An seinem Nordrand schließt das Naturdenkmal „Weiße Wand“ (Geotop 4336-03; Abb. 1) ein Profil im Bereich der Grenze Rotliegend/Zechstein auf. Der spektakuläre Felsaufschluss markiert den Nordostrand der Mansfelder Mulde. Die Schichten fallen mit ca. 50° nach Südwesten ein. Dr. Ehling erläuterte die geologischen Verhältnisse unter Einbeziehung der Schautafel des LAGB. Vom Top der „Weißen Wand“ bot sich den Exkursionsteilnehmern ein instruktiver Blick in das Saaletal. Es ist im Raum Wettin–Dobis als weites, 1,4 km breites Salzspiegeltal ausgebildet. Im nördlich folgenden Rothenburger Abschnitt, zwischen Dobis, Wettin und Könnern, quert die Saale die Halle–Hettstedter Gebirgsbrücke. Hier hat der Fluss ein steilflankiges, nur 250 m breites Durchbruchstal geschaffen (Abb. 2), das in der Saale-Kaltzeit von der aus Westen kommenden Salzke in einer tektonischen Schwächezone angelegt worden war (Ruske 1963).

Nächster Exkursionspunkt war Wettin. Die dortige Burg ist als Stammsitz der Wettiner bekannt, die die Herrscher-Dynastie der Sachsen begründeten. Am Fußweg zur Burg steht kleinporphyrischer Rhyolith an, der neben der großporphyrischen Varietät das wichtigste Charaktergestein des Halleschen Vulkanitkomplexes bildet (Halle-Formation). Dr. Ehling erläuterte die Varietäten des Gesteins und die Forschungsgeschichte zu Genese und Alter der Rhyolithe (Ehling & Breitkreuz 2006). Im Zuge von radiometrischen Datierungen und geochemischen Untersuchungen hat sich in den letzten Jahrzehnten ein rasanter Kenntnisfortschritt ergeben. Die früher gebräuchlichen Bezeichnungen „Unterer/Älterer“ und „Oberer/Jüngerer Hallescher Porphyr“ sollten verworfen und durch die Begriffe „groß- und kleinporphyrischer Rhyolith“ ersetzt werden.

Den Abschluss der Exkursion bildete eine kulturhistorische Besonderheit im 2 km südlich von Wettin gelegenen Mücheln. Die dortige Templerkapelle „Unser lieben Frauen“, zu DDR-Zeiten als Scheune genutzt, ist inzwischen liebevoll saniert und bildet ein architektonisches Kleinod im Saaletal. Die beiden Vereinsvorstände nutzten die altehrwürdige Kulisse, um den Exkursionsführern einen herzlichen Dank auszusprechen und kleine Präsente zu überreichen.

Abb. 1: Die „Weiße Wand“ in Dobis erschließt den Übergangsbereich vom Rotliegend zum Zechstein (Foto: Schuberth).

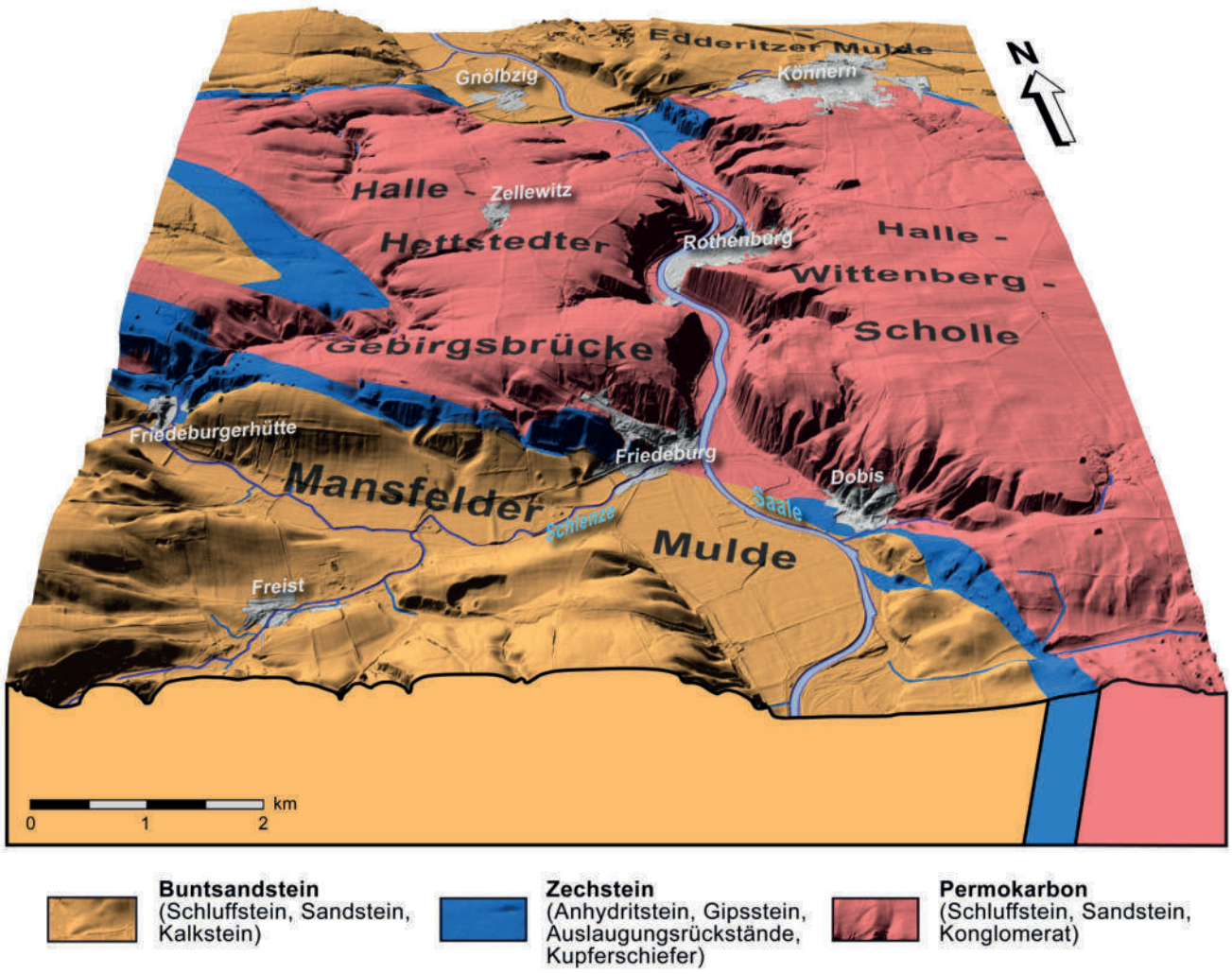


Abb. 2: 3D-Modell des Durchbruchstales der Saale zwischen Friedeburg/Dobis und Könnern (Grafik: Rappsilber)

Auch wenn angesichts der fortgeschrittenen Zeit auf den Besuch des aktiven Rhyolith-Steinbruchs Löbejün verzichtet werden musste: Die Vereinsmitglieder konnten auf einen erfüllten, gelungenen Exkursionstag zurückblicken, voller neuer Eindrücke die Rückfahrt nach Berlin antreten und den Blick nach vorn richten, auf die sicher auch im kommenden Jahr stattfindende nächste Exkursion am 1. Mai.

Literatur

Ehling, B.-C. & C. Breitkreuz (2006): Das klassische Rotliegend bei Halle (Saale): Sedimentation und Vulkanismus in neuem Licht (Exkursion K am 21. April 2006). – Jahresberichte und Mitteilungen des Oberrheinischen Geologischen Vereins, N. F., **88**, S. 369–404

Fritsch, K. von (1888): Das Saalthal zwischen Wettin und Cönnern. – Zeitschrift für Naturwissenschaften, **61**, 2, S. 114–142

Gebhardt, U. (1988): Mikrofazies und Paläontologie biogener Karbonate der Unteren Mansfelder Schichten (Oberkarbon, Stefan). – Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, **13**, S. 5–21

Gebhardt, U. (2023): Vom Bohrkern zur stratigraphischen Einstufung – das Permokarbon der Bohrung Querfurt 1/64. – Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (Hrsg.) (2023): Geoinformation in Zeit und Raum. – Mitteilungen zu Geologie und Bergwesen von Sachsen-Anhalt, **22**, S. 64–89

Kriebel, U. & G. Martiklos (1995): Geologische Karte Halle und Umgebung 1 : 50 000. – Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt, Halle

Ruske, R. (1963): Zur Entstehung des Gewässernetzes in der Umgebung von Halle/Saale. – Hercynia, N. F., **1**, 1, S. 40–50

Schuberth, K. & I. Rappsilber (2023): Ein Fluss zersägt die Landschaft. Das Durchbruchstal der Saale bei Rothenburg. Geologie, Landschaft, Montangeschichte. – Faltblatt, 10 S., Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt, Halle

Villwock, G. & H. Porada (2016): Das untere Saaletal. Eine landeskundliche Bestandsaufnahme zwischen Halle und Bernburg. – Landschaften in Deutschland, **75**, 398 S., Weimar, Köln (Böhlau)

Internet

Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (2024): Geotopkataster: https://lagb.sachsen-anhalt.de/geologie/geotope/geotopkataster (Stand* 01.10.2024), *zuletzt zugegriffen am 01.10.2024

Brandenburg. Geowiss. Beitr.	Cottbus	Bd. 32/2025	S. 177	

Workshop zur Stratifizierung und Korrelation quartärer Ablagerungen in Norddeutschland mittels Provenance-Analysen

Dr. Olaf Juschus & Sebastian Donke

Unter dem Titel „Stratifizierung und Korrelation quartärer Ablagerungen in Norddeutschland mittels Provenance-Analysen“ wurde vom Staatlichen Geologischen Dienst des Landes Brandenburg (LBGR) ein Workshop ausgerichtet, der sich vor allem mit der Kleingeschiebeanalyse befasste. Dazu trafen sich am 19. und 20.11.2024 Anwender und Experten der Feinkies-/Kleingeschiebeanalyse in Cottbus. Trotz aller methodischer Unschärfen gehören Geschiebeanalysen bis heute zu den wenigen Methoden, mit denen eine Korrelation von Geschiebemergeln zumindest für den regionalen Bereich möglich ist. Abstimmungen zwischen den norddeutschen Ländern gab es bisher dazu aber nicht. Diese Lücke sollte mit dem Workshop geschlossen werden. Es gab von allen geologischen Diensten der norddeutschen Bundesländer ein starkes Interesse am Thema, so dass sich 15 Teilnehmer zu diesem Workshop einfanden.

Zum Auftakt und fachlichen WarmUp wurden Vorträge zum aktuellen Stand der Kleingeschiebeanalyse in den einzelnen Bundesländern gehalten. Es entstand schnell eine rege Diskussion über die angewandte Methodik und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse. So stellten die Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Sachsen-Anhalt ihre Methodik an Hand der TGL 25232 vor. Seitens Schleswig-Holstein wurden die dort vorhandenen Feinkiesanalysen präsentiert und im speziellen darauf eingegangen, dass unterschiedliche Bearbeiter unterschiedliche Methoden angewandt haben, so dass eine Vergleichbarkeit der Daten schwierig bis unmöglich ist.

Bei der Archivierung und Digitalisierung der bisher gewonnenen Daten haben die Mitarbeiter des Landesamtes für Umwelt, Natur und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG) Vorbildliches geleistet, so dass dort die Ergebnisse von mehr als 15 000 Kleingeschiebezählungen der letzten 50 Jahre jederzeit in den Datenbanken abrufbar sind und dem interessierten Anwender graphisch aufbereitet dargestellt werden können. Die vorgestellte technische Herangehensweise wurde zur Prüfung für die anderen geologischen Dienste für das Management der eigenen Datenbestände empfohlen.

In den Diskussionen zum Abschluss des Workshops kristallisierte sich heraus, dass die Feinkies-/Kleingeschiebeanalyse weiterhin eine wesentliche Methode der stratigraphischen Einordnung von Sedimenten des Quartärs in Norddeutschland darstellt. Aus diesem Grund wurde durch die Workshopteilnehmer angeregt, den fachlichen Austausch weiter voranzubringen und die Methodik für alle Anwender auf eine einheitliche Basis zu stellen. Daher stellen sie sich die Aufgabe, die Methodik der Kleingeschiebeanalytik aus der TGL 25232 zu aktualisieren und neu zu veröffentlichen. Damit besteht die Möglichkeit, eine einheitliche Methodik zur Aufbereitung und Zählung der Proben für ganz Norddeutschland zu etablieren. Umgekehrt wird bei der Auswertung der Zählergebnisse hingegen auf die länderspezifischen Besonderheiten hingewiesen, so dass ein einheitliches Auswerteschema als nicht zielführend angesehen wurde. Der Aufbau regionsspezifischer Auswertealgorithmen stellt damit eine weitere langfristige Aufgabe für die Workshopteilnehmer dar.

Wir bedanken uns für den konstruktiven Workshop und hoffen auf weiteren regen Ausstauch zur Kleingeschiebeanalytik.

Abb. 1: Kleingeschiebe 4-10 mm unter dem Binokular. Im Bildzentrum ist ein nordischer Quarz mit sehr starker Blaufärbung zu erkennen (Foto: O. Juschus 2025).

Aus den laufenden Arbeiten des Geologischen Dienstes: Rechts Erosionsrest von Geschiebemergel in der Kiesgrube Glöwen-Nord (Prignitz), dessen unbekanntes Alter über eine Kleingeschiebeanalyse geklärt werden soll (Kleingeschiebe- und Kartierertreffen 23.–25.09.2025 in der Prignitz) (Foto: O. Juschus 25.09.2025).

AUS DEM LANDESAMT

Verifizierung der Gefährdungsbeurteilung einer illegalen, unter Wasser liegenden Abfallablagerung im Tontagebau Marienthal-Trottheide

Für die Wiedernutzbarmachung des Tontagebaus Marienthal-Trottheide wurde 1993/1994 ein Abschlussbetriebsplan zugelassen. In der Zulassung enthalten ist die Teilverfüllung des Tagebaurestlochs und die Stabilisierung der Tagebauböschungen mit mineralischen Abfällen nach Baurestmassenerlass Brandenburg sowie eine temporäre Sümpfung des Tagebaurestlochs.

2006 wurde eine mutmaßliche Verbringung nicht zugelassener Abfälle festgestellt. Das Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe (LBGR) ordnete im Benehmen mit der zuständigen Unteren Wasserbehörde (UWB) des Landkreises Oberhavel die Einstellung der Wasserhaltung sowie die unverzügliche Beräumung der Abfälle an. Wegen Verzögerungen auf Seiten des Betreibers verblieben wegen des steigenden Wasserspiegels ca. 17–28 Tm³ Abfall im Restloch und gerieten unter Wasser.

Alle seitdem mit normativen Kennwertumfängen und Bestimmungsmethoden vorgenommenen Untersuchungen zur Gefährdungsbeurteilung der verbliebenen Ablagerung durch Gutachter haben gezeigt, dass die Belastung der aquatischen Umweltkompartimente Grundwasser und See mit Schadstoffen gering ist. Aber die verbliebenen Abfälle entfalten im Tagebausee Marienthal-Trottheide einen nachteiligen Einfluss auf die Trophie und die Saprobie des Gewässers. Somit wurden hinreichende Maßnahmen der Überwachung des Grundwassers und des Restsees sowie die Unter-Wasser-Abdeckung des abgelagerten Materials mit Sand als Barriere gutachterlich empfohlen.

Davon unbeeindruckt fordert die Bürgerinitiative „Trottheide e.V.“ seit Jahren unverändert tiefergehende Untersuchungen der Schadstoffbelastung und gegebenenfalls eine Totalberäumung. Es gibt Bedenken, dass aus der Ablagerung weitere, bisher nicht erfasste, extrem gefährliche Kontaminanten in den Restsee und in das Grundwasser eingetragen werden. Um diese Bedenken auszuräumen, verständigte sich das LBGR mit der Bürgerinitiative darüber, tiefergehende Untersuchungen vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) Leipzig nach bilateral abgestimmter Aufgabenstellung vornehmen zu lassen.

Diese umfassten eine tiefgehende Detektion unbekannter chemischer und organischer Spurenstoffe und die Bewertung ihrer ökotoxikologischer Wirkungen mittels einer Kombination aus organisch-chemischer Screeninganalytik mit LC-HRMS und GC-HRMS und der Anwendung von effektbasierten Methoden mit relevanten Organismen (Grünalgen, Daphnien, Zebrafischembryos) und zellbasierten Systemen für relevante toxikologische Mechanismen (östrogene Aktivität, dioxinähnliche Toxizität, Neurotoxizität, Gentoxizität, oxidative Stressantwort).

Insgesamt zeigen die Ergebnisse dieser hochmodernen und komplexen chemischen Analysen wie auch die biologischen Wirkungstests, dass unter den aktuellen geohydraulischen Bedingungen der Austrag von problematischen Substanzen aus der Ablagerung in Grund- und Seewasser als sehr gering einzuschätzen ist. Es ist keine akute Gefährdung zu besorgen, solange sich die hydrogeologischen Bedingungen nicht ändern.

Im Ergebnis der Untersuchungen des UFZ Leipzig werden die bereits ursprünglich im Rahmen der Begutachtung vorgeschlagenen Überwachungsmaßnahmen mit geringumfänglicher Ergänzung des Parameterspektrums in ihrer Methode und im Ergebnis bestätigt.

Aus der Arbeit kann (vorsichtig) verallgemeinert werden, dass übliche normative Untersuchungsmethoden und Kennwertumfänge zur Erkundung schädlicher Emissionen aus Abfallablagerungen in die Hydrosphäre als hinreichend angesehen werden können, wenn diese bereits zeigen, dass eine gefährdende Umweltbeeinträchtigung nicht vorliegt oder sich der Befund als hinreichend für eine Beurteilung erweist. Bestehen Zweifel oder ist der nach klassischen Methoden abgeleitete Befund nicht hinreichend verifizierbar, kann die vorgestellte Methodik der Spurensuche mit moderner Screeninganalytik in Kombination mit Wirkungstests ein geeigneter Ansatz für weitere Untersuchungen sein.

Eine Totalberäumung würde einen (erneuten) massiven Eingriff einschließlich einer wiederum erheblichen Wasserhaltung in diesem naturräumlich sensiblen Gebiet bedeuten und könnte so zu zusätzlichen Umweltrisiken infolge einer damit verbundenen, nicht auszuschließenden Mobilisierung von Schadstoffen führen. Eine Abwägungsbetrachtung ist zwingend geboten.

Die im LBGR einschlägigen Dokumente erwiesen sich als hinreichend geeignet, die nach dem Aufdecken des illegalen Verbringens nicht zugelassener Abfälle bei der Teilverfüllung zur Wiedernutzbarmachung des Tontagebaus Marienthal-Trottheide im Rahmen des zugelassenen Abschlussbetriebsplans vom Bergamt unverzüglich initiierten Maßnahmen zur Schadensaufklärung, Gefährdungsbeurteilung und Eindämmung bzw. ad hoc Sanierungen nachvollziehen und beurteilen zu können.

Wie auch das ab 2008 laufende Grundwassermonitoring zeigt die 2015 erneut vorgenommene Gefährdungsanalyse,

dass die durchgeführten Maßnahmen als erfolgreich bezüglich der Gefahrenabwehr eingeschätzt werden dürfen. Dies wird schließlich durch die Ergebnisse der Untersuchungen des UFZ von 2023 bestätigt. So sind aktuell und auch in absehbarer Zukunft keine schutzgutgefährdenden Emissionen aus der Ablagerung zu besorgen. Ein Monitoring bleibt notwendig, da die Gefahr potenziell noch gegeben sein kann, und hinreichend, weil damit mögliche Veränderungen des aktuellen Zustandes erkannt werden.

Weitere Informationen siehe: https://lbgr.brandenburg.de/lbgr/de/aktuell/buergerinformationen/tontagebau-marienthal-trottheide/#

Sebastain Fritze, Sebastian Donke
& Lucas Meyer

Best Practice Forum Stromnetzausbau in Cottbus

Das vierte Best Practice Forum Stromnetzausbau fand am 28. und 29. Februar 2024 in Cottbus statt. Organisiert wurde die Veranstaltung vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) in Zusammenarbeit mit dem Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie des Landes Brandenburg (MWAE) und dem Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR). Das Forum zielt darauf ab, den Austausch zwischen Genehmigungsbehörden, Übertragungsnetzbetreibern und Umweltexperten zu fördern, um Genehmigungsverfahren für den Stromnetzausbau zu beschleunigen. Teilnehmer waren Vertreter von Ministerien, Behörden, Übertragungsnetzbetreibern und Umweltexperten. Das dritte Best Practice Forum Strom war die erste Veranstaltung, die nach der Coronapandemie in Präsenz in Dortmund 2023 stattfand. Um diesen wichtigen Erfahrungsaustausch zu intensivieren und mittel- und langfristig weiterführen zu können, erklärte sich das LBGR bereit, dass das Land Brandenburg in 2024 das vierte Forum in der Stadt Cottbus ausrichtet. Das Forum ist Teil der BMWK-Initiative zur Beschleunigung des Netzausbaus in Deutschland. Es bietet eine Plattform für den Erfahrungsaustausch zwischen Genehmigungsbehörden, um Verfahren effizienter zu gestalten und die Energiewende voranzutreiben.

Der Ausbau der Stromnetze in Deutschland ist von herausragender Bedeutung für die erfolgreiche Umsetzung der Energiewende und die Erreichung der ambitionierten Klimaschutzziele. Das deutsche Stromnetz benötigt rund 18 000 Kilometer neuer Stromleitungen (www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/netzausbau-suedlink-2222762). Dieser massive Netzausbau ist notwendig, um die dezentrale Einspeisung erneuerbarer Energien zu bewältigen und den Strom von den Erzeugungsorten im Norden zu den Verbrauchszentren im Süden und Westen zu transportieren. Gemäß dem Klimaschutzgesetz soll Deutschland bis 2045 treibhausgasneutral werden. Um dieses Ziel zu erreichen, ist eine Verdopplung des Stromverbrauchs bis 2045 prognostiziert, bedingt durch die Elektrifizierung von Verkehr und Wärmeversorgung. Das bestehende Stromnetz ist für diese Herausforderungen nicht ausgelegt und muss daher dringend ausgebaut und modernisiert werden, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten und die Klimaschutzziele zu erreichen.

Sebastian Fritze, Präsident des LBGR

Das Dezernat 41 (Planfeststellung Energieleitungen) des LBGR bereitete 2023 in ständiger Abstimmung mit dem BMWK unterstützt durch Guidehouse Deutschland sowie dem MWAE die Veranstaltung organisatorisch und inhaltlich vor. Die Resonanz auf die Einladung nach Cottbus war sehr groß, so dass über 100 Teilnehmer in Cottbus begrüßt werden konnten. Die Veranstaltung fand im alten Stadthaus am Altmarkt statt.

Das Best Practice Forum wurde mit einer Videobotschaft des damaligen Bundeswirtschaftsministers Robert Habeck (BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN) und einem Grußwort des damaligen brandenburgischen Energieministers Jörg Steinbach (SPD) eröffnet. Der Präsident des LBGR Sebastian Fritze übernahm die Anmoderation (s. Abb.) und zog das Fazit des ersten und zweiten Tages der Veranstaltung.

Den Themenblock **„Beschleunigung Netzausbau“** moderierte Matthias Otte, Abteilungsleiter Netzausbau der Bundesnetzagentur. Unterabteilungsleiterin Netze Beatrix Brodkorb und Referatsleiterin Dr. Kristen Huttner (Ausbau Übertragungsnetz Strom) vom BMWK präsentierten die aktuellen Neuerungen in der Gesetzgebung des Energiewirtschafsgesetzes (EnWG). Prof. Dr. Eike Albrecht von der BTU Cottbus erläuterte die aktuelle Rechtsprechung in der Planfeststellung zum Ausbau der Energieleitungen. Vertreter aus Behörden und Vorhabenträgern, wie Kristin Schulz und Lydia Dietz vom Ministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Tourismus und Arbeit Mecklenburg-Vorpommern sowie Dr. Reinhard Ruge von 50Hertz, gaben Einblicke zur praktischen Umsetzung der aktuellen Gesetzesänderungen bei der Durchführung von Verfahren nach dem EnWG.

Abteilungsleiterin Dr. Claudia Herok vom MWAE Brandenburg moderierte den Themenblock **Ausstattung und Effizienz der Planfeststellungsbehörden.** Corinna Kratzke von Guidehouse Deutschland präsentierte die Ergebnisse einer Vorab-Umfrage. Dezernatsleiter Energieleitungen Max Heyde vom LBGR Brandenburg und Dr. Phillip Fest, Gruppenleiter Bergbau, Netze und Kerntechnik, Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen und Christiane Rövekamp, Bezirksregierung Münster diskutierten Personalausstattung und -akquise.

Dr. Christine Brockmann von der Arbeitsgemeinschaft für wirtschaftliche Verwaltung leitete den Themenblock **Beschleunigungsmöglichkeiten durch Digitalisierung**.

Bastian Rothe vom Bundesministerium des Innern und für Heimat sprach über Digitalisierung, während Rolf Lührs von DEMOS plan GmbH den Einsatz von KI thematisierte.

René Queren von Tenne moderierte den Abschnitt **Beschleunigung Netzausbau nach dem Planfeststellungsbeschluss**. Prof. Dr. Olaf Reidt von Redeker Sellner Dahs referierte über Ausführungsplanung, Planänderung und Enthaftung nach dem Umweltschadensrecht. Ingo Jürgens von Amprion und Christian Hochholzer von der Niedersächsischen Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr beleuchteten die Herausforderungen für Vorhabenträger und Behörden.

Zum Ende der Veranstaltung diskutierten Anna Christina Kling und Sonja von Loeßl vom BMWK die Zukunft des Best Practice Forums. Beatrix Brodkorb (BMWK) und Uwe Steffen (Ministerium für Wirtschaft und Energie des Landes Brandenburg) verabschiedeten die Teilnehmer. Das Best Practice Forum Stromnetzausbau in Cottbus hat sich als wichtige Plattform für den Austausch und die Vernetzung im Bereich des Stromnetzausbaus etabliert. Die Veranstaltung adressierte zentrale Herausforderungen und bot konkrete Lösungsansätze zur Beschleunigung der Genehmigungsverfahren. Mit dem Fokus auf Digitalisierung, Personaleffizienz und rechtliche Rahmenbedingungen leistet das Forum einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung der Energiewende in Deutschland. Das fünfte Best Practice Forum Stromausbau fand bereits erfolgreich am 2. und 3. April 2025 in Stuttgart statt.

Uwe Sell

20 Jahre Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg – Ein Rückblick und Ausblick auf die Zukunft

Im Jahr 2024 feierte das Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe (LBGR) sein 20-jähriges Bestehen. Zu diesem besonderen Anlass lud das LBGR seine Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, ehemalige Kolleginnen und Kollegen sowie Gäste aus dem brandenburgischen Wirtschaftsministerium ein. Unter den geladenen Gästen befand sich auch der damalige Staatssekretär Hendrik Fischer, der sich bereit erklärte, an einer Podiumsdiskussion teilzunehmen. Die Veranstaltung bot Gelegenheit, die vergangenen zwei Jahrzehnte Revue passieren zu lassen, die Rolle des LBGR im Strukturwandel der Lausitz zu beleuchten und gemeinsam einen Blick in die Zukunft der geowissenschaftlichen und bergbaulichen Entwicklung Brandenburgs zu werfen.

Die Bedeutung des LBGR für Brandenburg

Seit seiner Fusion im Jahr 2004 hat sich das LBGR als eine zentrale Institution im Land Brandenburg etabliert, die in den Bereichen Bergbau, Geologie und Energie eine bedeutende Rolle spielt. Das LBGR ist eine der wichtigsten Fachbehörden des Landes Brandenburg und bildet eine essenzielle Schnittstelle zwischen Wissenschaft, Verwaltung und Wirtschaft. Es sorgt dafür, dass die natürlichen Ressourcen Brandenburgs nachhaltig genutzt werden, indem es geowissenschaftliche Daten erhebt, analysiert und für verschiedene gesellschaftliche Bedarfe bereitstellt. Besonders in einem rohstoffreichen Bundesland wie Brandenburg sind diese Aufgaben von zentraler Bedeutung, um eine ausgewogene Balance zwischen wirtschaftlicher Entwicklung und Umweltschutz sicherzustellen. Darüber hinaus hat das LBGR die Aufgabe, die Folgen des Bergbaus zu bewerten und Strategien zur Renaturierung ehemaliger Abbaugebiete zu entwickeln. Die Genehmigung von Energieleitungen (Genehmigungen von Hochspannungsfreileitungen ab 110 kV und Gashochdruckleitungen mit einem Durchmesser größer als 300 mm) ist ebenfalls ein aktuell wichtiges Aufgabenfeld im LBGR. Hier bringen die verantwortlichen Teams den Netzausbau voran, indem sie ordnungsgemäße, rechtssichere und zügige Verfahren umsetzen und somit Investitionssicherheit für den Netzausbau schaffen. In einer Zeit des Wandels ist das LBGR daher ein unverzichtbarer Akteur für eine zukunftsfähige Entwicklung der Region.

Der Strukturwandel in der Lausitz und die Energiewende

Mit dem geplanten Kohleausstieg bis 2038 befindet sich die Lausitz inmitten eines tiefgreifenden Strukturwandels. Jahrzehntelang war die Region durch den Braunkohlebergbau geprägt, der nicht nur Arbeitsplätze sicherte, sondern auch die Landschaft und ökologische Gegebenheiten massiv beeinflusste. Das LBGR begleitet diesen Wandel mit seiner geowissenschaftlichen Expertise und unterstützt die Transformation hin zu einer nachhaltigen Wirtschaftsstruktur. Dazu gehört insbesondere die Erkundung alternativer Rohstoffe und Energieträger wie Geothermie oder Wasserstoff, die langfristig zur Stabilisierung der Energieversorgung beitragen könnten.

Darüber hinaus spielt das LBGR eine wichtige Rolle bei der Entwicklung neuer Nutzungskonzepte für ehemalige Tagebauflächen. Die Sicherung und Rekultivierung dieser

20 Jahre LBGR – Präsident Sebastian Fritze und der damalige Staatssekretär Hendrik Fischer während der Podiumsdiskussion

Gebiete sind zentrale Herausforderungen, die ökologisch verantwortungsbewusst und wirtschaftlich tragfähig gestaltet werden müssen. Durch seine wissenschaftliche und regulatorische Kompetenz sorgt das LBGR dafür, dass die Umgestaltung der Landschaft im Einklang mit den gesellschaftlichen Bedürfnissen und ökologischen Erfordernissen erfolgt.

Generationenwechsel und Zukunftsperspektiven

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Entwicklung des LBGR ist der eingeläutete Generationenwechsel innerhalb der Behörde. In den vergangenen Jahren wurden zahlreiche junge Fachkräfte gewonnen, die ihr Wissen und ihre innovativen Ideen in die Arbeit des Amtes einbringen. Gleichzeitig erfolgt dieser Wechsel in enger Zusammenarbeit mit den erfahrenen Kolleginnen und Kollegen, sodass mit Kräften versucht wird einen wertvollen Wissenstransfer und einen nahtlosen Übergang zwischen den Generationen sicherzustellen. Diese dynamische Entwicklung ermöglicht es dem LBGR, auch in Zukunft als leistungsfähige Institution zu agieren und den Herausforderungen des Strukturwandels aktiv zu begegnen.

In den kommenden Jahren wird das LBGR weiterhin eine zentrale Rolle in der geowissenschaftlichen Forschung und der nachhaltigen Rohstoffnutzung einnehmen. Es wird verstärkt darauf hinarbeiten, innovative Technologien zur Energiegewinnung zu unterstützen und die Transformation der Lausitz mitzugestalten. Die Herausforderungen der Zukunft – von der Klimaanpassung bis zur nachhaltigen Ressourcennutzung – erfordern fundierte geologische und bergbauliche Kenntnisse und strategische Weitsicht. Mit seiner Expertise wird das LBGR auch in den kommenden Jahrzehnten ein unverzichtbarer Akteur für Brandenburgs nachhaltige Entwicklung bleiben. Somit sehen wir uns als ein „Wegbereiter des Wandels“ und Arbeiten mit viel Motivation und Tatenkraft für ein stetiges Vorankommen im Land Brandenburg.

Präsident Sebastian Fritze zum 20-jährigen Bestehen des LBGR: „Als ich im Oktober 2020 das LBGR vom Land Brandenburg anvertraut bekam, war es 16 Jahre alt und in mancherlei Hinsicht pubertär. Die Zusammenlegung der Ämter war vollzogen und die scheinbaren Synergieeffekte im Sinne von Stelleneinsparungen über die Zeit konsequent umgesetzt. So existierten die beiden Ämter im Inneren fort, denen dann 2003 noch die Genehmigungen der Energieleitungen ohne wesentliche Personalaufstockung übertragen wurden.

Doch wie das in der Jugend mit 16 so ist… schlecht sortiert, Orientierung suchend aber voller Ideen und Tatendrang hat sich das LBGR gut entwickelt. Wir wachsen nicht nur zusammen, sondern auch in der Anzahl der Mitarbeitenden, die sich von 82 auf 128 bis Ende 2024 erhöht hat. Mit der Unterstützung der Brandenburger Landesregierung – insbesondere des MWAEK – macht sich das LBGR fit für die Zukunft. Bereits jetzt sind wir aktiver fachlicher Begleiter des Strukturwandels und schaffen mit unseren Genehmigungen Investitionssicherheit für viele Projekte. Unsere Aufsichtstätigkeit schafft Sicherheit im Energie- und Bergbaubereich und unsere Fachexpertise im Bereich Geologie ist nicht nur wegen der detaillierten und sehr umfangreichen Fachdaten sehr gefragt und akzeptiert.

Nun mit 20 ist die Entwicklung auf gutem Wege, doch dem Alter entsprechend nicht abgeschlossen. Nach innen gefestigt und nach außen selbstbewusst wollen wir als politische unabhängige Fach- und Kontrollbehörde den Strukturwandel über die gesamte Bandbreite unserer Aufgaben nicht nur begleiten, sondern mitgestalten.

Unter der Maxime „Wir dienen Brandenburg, machen wir uns auf den Weg!“

Stefan Beyer

Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge

Autorenhinweise

Die Zeitschrift „Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge“ widmet sich dem neuesten Forschungsstand in den geowissenschaftlichen Disziplinen Geologie, Lagerstättenkunde und Bergbau mit besonderem Fokus auf wissenschaftliche und angewandte Projekte aus der Region Berlin-Brandenburg. Es werden Originalarbeiten und wissenschaftliche Informationen veröffentlicht, die noch nicht andernorts publiziert wurden. Die eingereichten Manuskripte werden von mindestens zwei unabhängigen Gutachtern geprüft, welche von der Schriftleitung gewählt werden.
Ihre Manuskripte senden Sie bitte in digitaler Form (E-Mail, CD) an das Redaktionsteam BGB des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, PSF 10 09 93, 03009 Cottbus oder per E-Mail an: kaenozoikum@lbgr.brandenburg.de. Der E-Mail-Betreff sollte wie folgt lauten: „**Manuskript BGB [Name des Autors]_[Jahr]“**.
Tel.: 0355-48640-155 (Sebastian Donke). Weitere Anfragen richten Sie bitte ebenfalls an die obige Adresse.

Manuskript:
- Die Textdateien sollten unformatiert sein und in Word abgefasst werden.
- Schrift: Times New Roman 10 pt, 1,5 Zeilenabstand, linksbündige Ausrichtung
- Absätze bitte mit einer Leerzeile trennen.
- Der Text darf keine Formatierungen enthalten, insbesondere keine Textmarken, automatische Gliederung oder Nummerierung, Silbentrennung, Einrückungen oder Kopf- und Fußzeilen, Seitenzahlen, Fußnoten, geschützte/festgestellte Leer- bzw. Enterzeichen sind zu vermeiden.
- Überschriften **fett,** keine weitere Formatierung vornehmen
- Kapitelnummerierung: Bei Kapiteln ohne Unterkapitel kein Punkt nach der Nummer, bei Kapiteln mit Unterkapiteln einen Punkt setzen (z. B. kein Unterkapitel: 1, ein Unterkapitel: 2., 2.1, zwei Unterkapitel 3., 3.1., 3.1.1 etc.).

Aufbau von Manuskripten für Artikel:
- Titel (in Deutsch und in Englisch), Autoren (Vor- und Nachnamen), Kurzfassung (in Deutsch und in Englisch), Text.
- In separaten Word-Dokumenten einzureichen: Literaturverzeichnis, Abbildungs- und Tabellenverzeichnis (inkl. Abbildungs-/Tabellentext in Deutsch und in Englisch).
- Der Umfang des Manuskripts sollte zehn Din A4-Seiten nicht überschreiten. Wissenschaftliche Kurzinformationen sind einschließlich der Abbildungen auf maximal fünf Seiten zu bemessen.
- Word-Dokumente bitte nicht mit integrierten Abbildungen liefern, d. h. Text und Abbildungen in separaten Dateien einschicken!

Grundsätze zu Rechtschreibung und Zeichensetzung:
- **Datum**: Entweder 1. März 2011 oder 01.03.2011;
- **Einheiten**: 2 km, 50 % – Einheitszeichen mit Zwischenraum zwischen Zahl und Zeichen verwenden;
- **Euro**: ausschreiben;
- **Rechenzeichen**: 6 + 2 = 8 mit Zwischenraum zwischen Zahl und Rechenzeichen, ebenso </> mit festem Leerzeichen vor der Zahl **ABER** -2 – Vorzeichen vor der Zahl ohne Zwischenraum;
- **mehrstellige Zahlen**: 5 350 Gliederung von der Endziffer aus durch Zwischenraum in dreistellige Gruppen;
- **Schrägstrich**: 2010/11 – ohne Zwischenraum;
- **Gedankenstrich**: 1999–2011 Gedankenstrich für „gegen“ und „bis“;
- **Festabstände**: z. B., u. a. – Abkürzungen mit Zwischenraum

Abbildungen
- Wir empfehlen, die Anzahl von bis zu 7 Abbildungen je Beitrag nicht zu überschreiten.
- Zur Beschriftung in den Abbildungen verwenden Sie bitte die Schriftart „Arial“.
- Jede Abbildung ist separat mit Nummer und Autorennamen zu kennzeichnen und als einzelne Datei zu liefern.
- Die Abbildungsunterschriften sind in einer gesonderten Datei beizugeben.
- Digital hergestellte **Zeichnungen, Grafiken und Abbildungen** sollten im **.tif- oder .svg-**Format eingereicht werden (mindestens 300 dpi).
- Fotos hochauflösend **(mindestens 300 dpi!) .tif- bzw. .jpg-**Format (Qualität min. 90 % bzw. „Maximal“).
- Das Originalformat bitte immer mitschicken!

Tabellen
- Tabellen bitte mit einem Tabellenprogramm schreiben (Word, Excel), Schriftart Arial.

Für die Begutachtung bitten wir zusätzlich um ein größenreduziertes PDF inklusive aller Abbildungen und Tabellen.

Zitierweise

Im Text:
- Wunderlich (1974) bzw. (Wunderlich 1974) oder
- Pilger & Stadler (1971) sowie Nöldeke et al. (1977) bei mehr als zwei Autoren

Im Literaturverzeichnis:
- Bubnoff, S. v. (1953): Über die Småländer „Erdnaht". – Geol. Rdsch. **41**, S. 78–90
- Niesche, H. & F. Krüger (1998): Das Oder-Hochwasser 1997 - Verlauf, Deichschäden und Deichverteidigung. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **5**, 1, S. 15–22
- 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)
- Lippstreu, L., Hermsdorf, N., Sonntag, A. & J. Strahl (2015): 3.3.3 Quartär. – In: Stackebrandt, W. & D. Franke (Hrsg.): Geologie von Brandenburg. – S. 333–438, Stuttgart (Schweizerbart)
- LGB (2015): Topographische Landeskarte 1 : 250 000. – Landesvermessung Und Geobasisinformation Brandenburg, Potsdam
- Krienke, H.-D. (2003): Geologische Karte von Mecklenburg-Vorpommern. – Erläuterungen zur Karte der quartären Bildungen – Oberfläche bis 5 m Tiefe – 1 : 200 000. – 45 S., Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.), Güstrow
- LGB (2023): Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg https://bb-viewer.geobasis-bb.de/ (Stand* 26.09.2023) * Internetlink zuletzt abgerufen am tt.mm.jjjj

Anschrift der Autoren:
Autorenname(n): Akademischer Titel, Vorname, Name, und Anschrift der Institution oder gegebenenfalls die Privatanschrift, wenn gewünscht, auch E-Mail-Adresse