

**Beiträge**  
**zu den lithostratigraphischen Einheiten des Zechstein in Brandenburg,**  
**zum Grundwasser in Berlin und Brandenburg,**  
**zu Untersuchungen an rezenten litoralen Ablagerungen**  
**auf der Insel Usedom**  
**und zur Geoökologie und Böden im Gebiet**  
**der Choriner und Grumsiner Forsten**



	INHALT	CONTENTS	Seite
MICHAEL GÖTHEL	Die lithostratigraphischen Einheiten des Zechstein – Fortschritte aus Neubewertungen von Erkundungsergebnissen Brandenburgs (Deutschland) im Vergleich zu benachbarten Regionen	The lithostratigraphic units of the Zechstein Group – progress from reassessment of the exploratory results in Brandenburg (Germany) compared to adjacent areas	5–25
SILVIO JANETZ & SILKE REYES	Hydrogeologische Raumgliederung in Brandenburg	Hydrogeological sub-regions in the state of Brandenburg	29–31
MICHAEL PIRRUNG, MARCUS BÖHM, DIRK MERTEN, MARTINA KUNZ-PIRRUNG	Zur Petrographie und magnetischen Suszeptibilität rezenter litoraler Ablagerungen auf der Insel Usedom	Petrography and Magnetic Susceptibility of Recent Litoral Sediments on the Island of Usedom	33–46
TIM SCHRAMM & RAINER HERD	Geogene Grundwasserversalzung in Berlin	Geogenic groundwater salinization in Berlin	47–60
ULRIKE HÖRMANN & HARTMUT VERLEGER	Erweiterung der Karte des zu erwartenden höchsten Grundwasserstandes (zeHGW) für Berlin im Bereich der Teltow-Hochfläche und der Nauener Platte	Enlargement of the map showing the expected highest groundwater level (exp. HGWL) of Berlin in the area of the Teltow Plateau and the Nauener Platte	61–73
AXEL HEISE & SIXTEN BUSSEMER	Geoökologie und Böden von Standorten an der Pommerschen Haupteisrandlage zwischen Chorin und Grumsin	Geoecology and soils of sites in the area of the Pomeranian terminal moraine between Chorin and Grumsin	75–86
<b>Kurzmitteilungen</b>			
ULRIKE HÖRMANN & DR. BENJAMIN CREUTZFELDT	Karten der Wasserdurchlässigkeit des Untergrundes	Maps of the hydraulic conductivity of the subsurface	26
ULRIKE HÖRMANN & MATTHIAS SCHROEDER	Das geologische Landesmodell für das Quartär und Tertiär von Berlin nun auch als interaktive 3D-Anwendung	Berlin geological model of the Quarternary and Tertiary sediments now also available as an interactive application	32
<b>Buchbesprechung</b>			
GERHARD HOTZAN	Die Mineralien des Harzes – Entdecken – Sammeln – Bestimmen		74
<b>Aus dem LBGR</b>			
	Herr Sebastian Fritze neuer Präsident des LBGR		87



Brandenburg. geowiss. Beitr.	Cottbus	27 (2020), 1/2	S. 5–25	1 Abb., 2 Taf., 74 Zit.
------------------------------	---------	----------------	---------	-------------------------

# Die lithostratigraphischen Einheiten des Zechstein – Fortschritte aus Neubewertungen von Erkundungsergebnissen Brandenburgs (Deutschland) im Vergleich zu benachbarten Regionen

## The lithostratigraphic units of the Zechstein Group – progress from reassessment of the exploratory results in Brandenburg (Germany) compared to adjacent areas

MICHAEL GÖTHEL

### 1 Einleitung

Auch der Zechstein ist mit seinen Evaporit-Bildungen bzw. Salinar betonten Sequenzen in Folge der Suche von Endlager-Standorten hochradioaktiver Abfälle wieder in den Fokus gesellschaftlichen und damit politischen Interesses gerückt. Durch das Standortauswahlgesetz (StandAG) vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074) werden praktisch alle bergbaulichen Vorhaben – wie auch Bohrungen – in Tiefen über 100 m der Priorität von möglichen Standorten radioaktiver Abfälle unterworfen. Gemäß StandAG § 21 Absatz 2 sind somit vom LBGR Brandenburg auch in bergrechtlichen Verfahren alle Vorhaben zu überprüfen, die „Gesteinsformationen“ beeinträchtigen können, welche nach festgelegten Mindestanforderungen gemäß StandAG § 23 Absatz 1 für eine Endlagerung radioaktiver Abfälle in Frage kommen könnten.

Im Zechstein gehört nach StandAG § 23 Absatz 1 (BGBl. I S. 1074) das Steinsalz (petrographisch Halitit, mineralogisch Halit, chemisch NaCl) als Evaporit-Bildung des Zechsteinsalinars zu den Gesteinen, in denen eine Endlagerung hochradioaktiver Abfälle möglich ist, wenn nach StandAG § 21 Absatz 2 der Top eines Steinsalz-Schichtgliedes pro forma in einer Teufe von 300 bis 1500 m lagert sowie eine Mächtigkeit von mehr als 100 m aufweist. Nach den Ausschlusskriterien StandAG § 22 Absatz 2 Nummer 2 darf jedoch das Gebiet des möglichen Endlagers vor allem nicht von sowohl tektonischer als auch atektonischer Aktivität in den letzten 34 Millionen Jahren, nach derzeitigem Kenntnisstand vor Beginn der Oligozän-Serie bzw. der Rupel-Stufe (Unter-Oligozän), bis zur Gegenwart (vergleiche Einbl. zu GÖTHEL 2018) beeinflusst worden sein. Ebenso zutreffend in Brandenburg, darf es nach § 22 Absatz 2 Nummer 3 infolge gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit – wie auch durch Bohrungen – nicht beeinträchtigt worden sein.

Um die Steinsalz-Schichtglieder im Zechsteinsalinar so beurteilen zu können, dass sowohl ihr Standort bezogener Schutz in bergrechtlichen Verfahren als auch ihre Auswahl an einem zukünftig möglichen Standort juristisch unanfechtbar sind, ist insbesondere die exakte Kenntnis vom li-

thologischen Aufbau des Zechstein unerlässlich. Dabei ist auch in Zukunft mit einer weiter fortschreitenden Halokinese in den Salinarstrukturen zu rechnen, die in jedem Fall zu bruchtektonischen Aktivitäten an den infolge Massendefizit physikalisch gesetzmäßig hervorgerufenen Scheiteleinbrüchen in deren Top geführt haben oder noch führen werden.

Meine Neubewertungen von geologischen und bohrlochgeophysikalischen Ergebnissen aus Bohrungen und von Ergebnissen geophysikalischer Messungen zur Erarbeitung geologischer Modelle mittels Isolinkarten reflexionsseismischer Horizonte und reflexionsseismisch-geologischer Schnitte ergaben einen Kenntnisfortschritt auch zur Lithostratigraphie des Zechstein. Als Grundlage zur 3D-Modellierung des geologischen Untergrundes Brandenburgs, sowohl regionalgeologisch als auch Standort bezogen, ist letztendlich eine präzise Erfassung der lithostratigraphischen Einheiten des Zechstein erforderlich, die ihre eindeutige Benennung bzw. Nomenklatur in Abstimmung mit den benachbarten Staatlichen Geologischen Diensten voraussetzt. Dazu soll auch dieser Artikel mit beitragen, der an GÖTHEL (2012) anschließt und fortsetzt. Der Kenntnisfortschritt (Abb. 6.29 in ELICKI & BREITKREUZ 2016) erfordert inzwischen auch eine Präzisierung der Zuordnung einzelner reflexionsseismischer Horizonte (vergleiche zuletzt Tab. 3 in RAPPILBER et al. 2019 mit GÖTHEL 2016). Mit einer Ausnahme (Horka Kb HrkNi 3/62) resultieren alle Angaben zur Lithologie aus meinen Untersuchungen an den Bohrkernen im Bohrkern- und Probenarchiv des Landes Brandenburg in Wünsdorf.

### 2 Lithostratigraphische Gliederung des Zechstein

#### 2.1 Der Erkundungsstand als bestimmender Faktor des Grades der Untergliederung

In Brandenburg und Berlin erfolgte zwar mit den Objekten Sperenberg 1867, 1899 bis 1901, 1960, Berlin-Hirschgarten 1889 sowie Staakow mit 4 Bohrungen von 1966 bis 1967 eine Kalisalz-Erkundung, jedoch können deren Ergebnisse nicht oder nur bedingt für eine detaillierte, dem heutigen Wissens- und Kenntnisstand entsprechende lithostratigra-

phische Gliederung dienen. Im Objekt Sperenberg konzentrieren sich die insgesamt geteuften 11 Bohrungen auf den Salzstock Sperenberg, deren Intrasalinartektonik jedoch zusätzlich eine Zuordnung von Schichtgliedern erschwert. Deshalb ist man in Brandenburg hauptsächlich auf die bohrlochgeophysikalischen Ergebnisse der Erdöl-/Erdgas-Erkundung angewiesen. Deren bohrlochgeophysikalischen Messungen waren jedoch nicht auf eine detaillierte Kali- und Steinsalz-Erkundung, sondern auf die Lithofazies-Typen möglicher Speichergesteine – im Zechstein hauptsächlich des Staßfurt-Karbonats Ca2 – fokussiert, so dass deren Ergebnisse eine detailliertere Untergliederung über das Schichtglied hinaus nicht zulassen, wie sie in den einzelnen, gut erkundeten Kali- und Steinsalz-Bergbaurevieren der Bundesländer Hessen, Thüringen, Sachsen-Anhalt, Niedersachsen und Mecklenburg-Vorpommern möglich und infolge des Bergbaus auch notwendig ist.

Die Kupferschiefer-Erkundung des Objektes Spremberg in der Lausitz richtete sich zunächst auf den basalen Zechstein mit seiner polymetallischen Vererzung im Kupferschiefer und darüber hinaus bis in den Zechsteinkalk (Hangenderz bzw. Karbonaterz) sowie bis in das Zechsteinkonglomerat oder in den Topbereich von Rotliegend-Sandsteinen (Liegenderz bzw. Sanderz). Infolge seiner bruchtektonischen Zergliederung und Nähe zur Oberfläche des Präkämozoikum, insbesondere vom Mittleren Buntsandstein, ist das Steinsalz oft abgelautet und demzufolge bis in die Leine-Formation sowie darunter hinaus oft reduziert. Die Evaporite können insgesamt einer Subrosion unterworfen sein.

## 2.2 Lithostratigraphische Einheiten und Lithofazies nach internationaler Richtlinie

Die International Commission on Stratigraphy (ICS) sieht in ihren Richtlinien zu den lithostratigraphischen Einheiten (siehe Kapitel C. Kinds of lithostratigraphic Units in INTERNATIONAL COMMISSION ON STRATIGRAPHY 2020a) aktuell folgende Einheiten und Hierarchie vor, die im Zechstein beispielsweise folgende Zuordnung erlaubt:

Gruppe (group) – Zechstein-Gruppe  
 Formation (formation) – Beispiel Leine-Formation  
 Schichtglied (member) – Beispiel Anhydritmittelsalz  
 Schicht (bed) – Beispiel Anhydritbank 4 im Anhydritmittelsalz

Folgende lithostratigraphische Einheiten können zusätzlich genutzt werden:

Hauptgruppe (supergroup) – Dyas (Rotliegend- + Zechstein-Gruppe)  
 Subgruppe (subgroup) – Nutzung im Zechstein nicht notwendig  
 Komplex (complex) – Zechsteinsalinar-Fazieskomplex (oft intrasalinartektonisch deformiert)  
 Lithohorizont / Leitschicht (lithohorizon, marker bed) – Beispiel Anhydrithauptbank

Die Benennung der lithostratigraphischen Einheiten kann, wie auch bei den chronostratigraphischen Einheiten, zum einen durch einen geographischen Namen (Ortschaft, Fluss, Region) erfolgen. Zum anderen ist aber auch deren lithologische Benennung nach dem dominanten Gesteinstyp möglich.

Die Formation stellt dabei als kleinste kartierbare lithostratigraphische Einheit die Grundeinheit in der Lithostratigraphie dar. In der Regel ist im Zechstein die Formation der ehemaligen „Folge“, ansonsten auch ehemaligen „Schichten“, gleich zu setzen. Das Schichtglied kann im Zechstein hauptsächlich einer Lithofazies zugeordnet werden, deren Abgrenzung damit oft diachron und dann nicht isochron verläuft (beispielsweise die diachrone Grenze von Plattendolomit Ca3 und Hauptanhydrit A3 in der Leine-Formation (LANGBEIN 1973). In Form von Zwischenlagen, Flasern, Linsen, auch diagenetisch bedingt, kann die Lithofazies und damit das Schichtglied modifiziert sein. Lithologische Spezifikationen können zu deren Benennung mit genutzt werden.

Die Ablagerungen der Zechstein-Gruppe sind grundsätzlich als Hauptlithofazies Siliziklastika-Rand, Evaporit-/Karbonat-Plattform (Sabkha, Lagune, Barre) und Evaporit-Becken zu unterscheiden und ihnen zuzuordnen. In einem sequenzstratigraphischen Schema von eustatischen, den Meeresspiegel-Schwankungen unterworfenen, Zyklen 3. Ordnung kann besonders gut die diachrone und isochrone Begrenzung der Lithofazies verdeutlicht und unterschieden werden; ebenso die zu Zeiten eines Meeresspiegel-Niedrigstandes erfolgte Unterbrechung der marinen Sedimentation in küstennahen Ablagerungsräumen, die im Zechsteinsalinar-Fazieskomplex von Verkarstungen, Subrosion und Residualprodukten charakterisiert ist (Taf. 1). Die Ablagerungen des Zechstein können insgesamt den eustatischen Zyklen 3. Ordnung Pz1 bis Pz8 zugeordnet werden, wobei die Zyklen Pz1 bis Pz3 von der bruchtektonischen Aktivität seit dem Rotliegend gesteuert werden. Die Ablagerungssequenzen (Systems Tracts) dieser Zyklen 3. Ordnung können mehr oder weniger durch Parasequenzen differenziert werden, besonders deutlich im Kupferschiefer T1 und Staßfurt-Karbonat Ca2 (KAISER, NÖTH & RICKEN 2003).

Eine lithostratigraphische Zuordnung der Faziesentwicklungen im Ablagerungsgebiet der Zechstein-Gruppe in Tabellenform, wie sie für einen Symbolschlüssel Geologie der Staatlichen Geologischen Dienste zur Stratigraphie angewendet werden soll, ist schwer möglich. Eine Tabelle lässt eine Darstellung von Ablagerungen unterschiedlicher Lithofazies-Typen zu gleicher Zeit nicht erkennen. Wie es sich gezeigt hat, kann eine schematische Anwendung der Tabellenform sogar zur Annahme von lithostratigraphischen Einheiten führen, die gar nicht existieren.

### 2.3 Gliederung der Zechstein-Gruppe in Lithofazies und Schichtglieder entsprechend ICS-Richtlinien und neubewertetem Erkundungsstand in Brandenburg

Die Benennung der Schichtglieder in den Formationen folgt der klassischen nach RICHTER-BERNBURG (1959b) und ist entsprechend des aktuellen Erkundungs- und Kenntnisstandes angepasst und erweitert (Taf. 1). Im Zusammenhang mit folgenden Darlegungen ermöglicht sie es weiterhin, älteren Berichten und Publikationen problemlos folgen zu können und widerspricht nicht den ICS-Richtlinien. Deshalb ist sie für Brandenburg amtlich festgelegt.

Die vornehmlich sandige Siliziklastika-Randfazies der Zechstein-Gruppe kommt in Brandenburg einschließlich Berlin nicht vor und wird deshalb im Folgenden nicht bewertet.

#### 2.3.1 Werra-Formation und Basis der Zechstein-Gruppe

Das aus konglomeratischen Sturmsandbarren aufgebaute Zechsteinkonglomerat z1C (siehe Bild d auf Taf. 1, S. 34 in GÖTHEL 2012), lithofaziell vom litoralen Teil des Weißliegend-Sandsteins z1S vertreten, repräsentiert zusammen mit dem darüber folgenden Basalkalk sowie seinem schluffig-kalkigen Äquivalent, dem Mutterflöz z1M, den TST (Transgressive Systems Tract) des eustatischen Zyklus Pz1. Der litorale Teil des Weißliegend-Sandsteins z1S kann insbesondere durch HCS (Hummocky Cross Stratification) charakterisiert sein. Wie der Top des Zechsteinkonglomerats z1C kann sein Top von Bioturbation gezeichnet sein, wie auch der flachmarine Top des Weißliegend-Sandsteins im Zielona Góra-Becken des westlichen Polens (POSZYTEK 2014). Im Gebiet des Erkundungsobjektes Spremberg kann das Zechsteinkonglomerat z1C bzw. der Weißliegend-Sandstein z1S infolge des bruchtektonisch vorgeprägten Rotliegend-Reliefs lediglich als bioturbate Lage im cm-Bereich ausgebildet sein. Am Merzenberg in Gera-Milbitz (siehe Bild a auf Taf. 1, S. 34 in GÖTHEL 2012) wird der Top des Zechsteinkonglomerats als Sandflöz bezeichnet und durch die marine „*cancriini*“-Fauna mit dem Brachiopoden *Cancriella germanica* und u. a. mit bis zu 5 cm großen Muscheln charakterisiert. Das Mutterflöz z1M, welches am Merzenberg in Gera-Milbitz als schluffig-feinsandiger Kalkstein (siehe Bild a auf Taf. 1, S. 34 in GÖTHEL 2012, S. 71–74 in SCHNEIDER et al. 2014) und an der Lasur am östlichen Elstertalhang Geras als Muschel führender, kalkiger Sandstein obertägig aufgeschlossen ist, entspricht dem „Grenzdolomit“ der Subsudetischen Monoklinale am NE-Rand des Subsudetischen Blocks (PIECZONKA, PIETRZYŃSKI & SAWLOWICZ 2010) sowie im Südosten der Niederlausitz-Nordsudetischen Permokarbonsenke (GÖTHEL 2019) dem Basalkalk (ZIMMERMANN 1936, KOWALSKI, DURKOWSKI & RACZYŃSKI 2018) in Polen. Zwischen Görlitz und Rothenburg ist bei Zentendorf eine ähnliche Ausbildung des TST in der Kartierungsbohrung Horka Kb HrkNi 3/62 (Zentendorf 2, Bohrung 53 in HIRSCHMANN, WOLF & LORENZ 1972) wie am Merzenberg in Gera-Milbitz durchteuft wor-

den. Der als „Grenzsandstein“ bezeichnete hellgraue, feste Sandstein mit einzelnen gröberen Quarzkörnern und bis zu 2 cm großen Schiefer-ton-Geröllen (HIRSCHMANN, WOLF & LORENZ 1972) bildet den gebleichten Top des Rotliegend und entspricht möglicherweise dem Rotliegend-Anteil des Weißliegend-Sandsteins in Polen. Bei den beiden darin durchteuften Kalkstein-Brekzien von je 15 cm Mächtigkeit könnte es sich um Calcrete-Bildungen handeln, wie sie in den obersten Metern des Rotliegend am Merzenberg in Gera-Milbitz auftreten. Die darauffolgenden 1,4 m wurden als „Basalkalk“ bezeichnet. Sie beginnen mit einem hellgrauen Feinsandstein mit Geröllchen bis zu 1 mm, bestehend aus Quarz, Feldspat, Quarzit, Glimmerschiefer, Vulkanit, Lydit und Tonschiefer, werden von Kalkstein-Schlieren durchzogen und entsprechen dem Sandflöz am Merzenberg in Gera-Milbitz. Darüber folgt das Mutterflöz z1M als hauptsächlicher Anteil der 1,4 m-Abfolge. Es ist als hellgrauer, feinsandiger Kalkstein ausgebildet, in dem brekziöse Partien von grünlichen Sandstein-Einlagerungen und untergeordnet konkretionäre Silcrete-Abscheidungen eingelagert sind. Der 0,1 m mächtige Top dieser Folge wird von einem Konglomerat mit bis zu 5 cm großen Geröllen gebildet, das nach oben in einen Feinsandstein übergeht. Zum Geröllbestand, wie an der Basis auftretend, kommen Gerölle vom Mutterflöz hinzu, die dessen benachbarte intraformationelle Abtragung und Aufarbeitung belegen. In Gera-Milbitz ist hingegen kein Konglomerat zwischen Mutterflöz z1M und Kupferschiefer T1 ausgebildet.

Der Kupferschiefer T1 (T1 $\alpha$ , u. a. SEIFERT 1972) lagert darüber mit einer scharfen Basis und leitet aufgrund seiner nachweislichen drei (RENTZSCH 1965) Verflachungssequenzen den folgenden HST (Highstand Systems Tract) ein. Im Gebiet des Erkundungsobjektes Spremberg ist dieses Schichtglied in der Regel ca. 1 m mächtig (Erkundungsbohrung Spremberg Cu Sp 83/60: 111 cm Mächtigkeit). Mit einer kohlenstoffreicheren Lage, die über der dritten Verflachungssequenz folgt, wird der Top des Kupferschiefers im Erkundungsobjekt Spremberg definiert (siehe Bild b auf Taf. 1, S. 34 in GÖTHEL 2012), wobei sich durch schwankende Zunahme des Kalkgehalts der Verflachungstrend im unteren Teil des Zechsteinkalks Ca1 fortsetzt. Der untere Teil dieses Schichtglieds wird in der Lausitz als Zechsteinmergel Ca1m lithofaziell separiert und dürfte dem niederschlesischen Bleimer gel (EISENTRAUT 1939) sowie dem Dachklotz Ca1 $\alpha$ 1 (0,15 bis 0,2 m Mächtigkeit) und folgendem Kalkmergelstein bis Mergelstein Ca1 $\alpha$ 2 (1,2 bis 1,4 m Mächtigkeit) im südöstlichen Harzvorland entsprechen. Im Raum Gera entspricht dem Dachklotz die *Productus*-Bank (Merzenberg in Gera-Milbitz: ca. 0,4 m Mächtigkeit) u. a. mit dem namensgebenden Brachiopoden *Horridonia horrida*. (ehemaliger „*Productus horridus*“). Zusammen mit dem dort folgenden Trennenden Mergel Ca1 $\alpha$ 2 stellen sie die Faziesäquivalente des Zechsteinmergels bzw. Bleimer gels Ca1m der Lausitz und Niederschlesiens dar.

In Schwellenposition kann die Karbonat-Plattform bereits im Kupferschiefer T1 mit sandigen Kalksteinbänken einsetzen und der Zechsteinmergel Ca1m durch die Führung

von Crinoiden-Gliedern (siehe Bild h auf Taf. 1, S. 34 in GÖTHEL 2012) gekennzeichnet sein. Schwellenpositionen sind insbesondere in der Struktur Mulkwitz in der Lausitz infolge sinistraler Bewegungen an den SSW–NNE verlaufenden Störungszonen anzutreffen. So konnte durch die Erkundungsbohrung Spremberg Cu Sp 80/60 eine Rippe im Präzechstein-Relief an der ESE-Flanke der Hoyerswerdaer Störungzone erbohrt werden. Nach der Neuinterpretation der Grenze zwischen den Schichtgliedern Kupferschiefer T1 (jetzt 5 cm Mächtigkeit) und Zechsteinkalk Ca1 (jetzt insgesamt 15,68 m Mächtigkeit) mit seiner basalen Zechsteinmergel-Lithofazies Ca1m (jetzt 108 cm Mächtigkeit) treten dort die Crinoiden-Glieder gehäuft an der Kalkstein-Basis und im Top des Zechsteinmergels Ca1m auf (siehe Anhang). Die Färbung sowohl des Kupferschiefers T1 als auch des gesamten Zechsteinkalks Ca1 wird dort außerdem durch Rotfleckungen dominiert, die der postgenetischen „Rote Fäule“-Vererzungsfazies zuzuordnen sind. In den dichten bis feinkristallinen Kalksteinen werden diese Rotfleckungen insbesondere durch lagig bis wolkig angehäuften, fein verteilte rotviolette Hämatit-Partikel hervorgerufen, die zu ihrer roten bis braunroten sowie rotvioletten und hellkarminroten Verfärbung führt. Die „Rote Fäule“-Überprägung reicht dort in die liegenden Rotliegend-Sandsteine bis zur Endteufe von 1410 m hinein, ebenso deren Dolomitisierung.

Die Rotfleckung ist ein Merkmal des Zechsteinkalks Ca1 in der Lausitz und dient dort zu dessen Identifizierung und in Randnähe zur Abgrenzung des überlagernden Werra-Dolomits Ca1d. In der Ca1-Karbonatplattform (siehe Taf. 1) der Lausitz sind in Randnähe (Spremberg Cu Sp 83/60: 58,7 m Ca1, 69,8 m Ca1d) wesentlich höhere Mächtigkeiten anzutreffen, die in Richtung Zechstein-Becken in den Erkundungsbohrungen abnehmen (etwa von SE nach NW Spremberg Cu Sp 61/59: 30,0 m, Cu Sp 97/61: 18,6 m, Drebkau E Drk 105/64: 12,0 m, Drebkau E Drk 1/63: 9,7 m, Burg E BuC 5/65: 5,2 m, Dissen Dsn 102/65: 5,75 m, Vertiefungsbohrung Mittweide E Mwd 6a/78: 4,6 m) und am Beckenhang bereits abgenommen haben (Briescht E Bct 1/83: 3,3 m).

Der obere Teil des Zechsteinkalks Ca1 gehört in der Bekenausbildung bereits zum nächsten eustatischen Zyklus Pz2, dessen Sequenzgrenze vielerorts deutlich erkennbar ist. Vom Zechstein-Becken Nordost-Brandenburgs liegt die Pz2-Basis im Zechsteinkalk Ca1 von 3,0 m Mächtigkeit aus einem vollständigen Kernmarsch (3792,2 – 3802,2 +9,8 ±0 m) der Erkundungsbohrung Angermünde E Am 1/68 vor. Darin wird sie durch ellipsoidische Pisoide und Thrombolithe (Algenklümpchen) mit verbackenen Pisoiden über einer verkarsteten Oberfläche charakterisiert (siehe Bild g auf Taf. 1, S. 34 in GÖTHEL 2012).

Aus dem bruchtektonisch bedingten Zehdenick-Hoch, das die NNE-Fortsetzung der Westbrandenburg-Schwelle im Rotliegend bildet, liegen die Ablagerungen vom Grenzbecken Oberrotliegend II/Zechstein in einem vollständigen Kernmarsch (3851,0 – 3869,0 +18,0 ±0 m, korrigiert 3860,4 – 3878,4 m) aus der Erkundungsbohrung Zehdenick E Zeh

4/76 vor. In dieser Bohrung lagert der Zechstein auf der Hannover-Formation (ehemalige „Peckensen-Schichten“ und „Mellin-Schichten“) der Elbe-Subgruppe des Oberrotliegend II (vergleiche Einbl. zu GÖTHEL 2018). Über einem 90 cm mächtigen, hellgrauen Feinsandstein mit zunächst kieseligem Bindemittel, dessen basale 2 cm mittelsandig sind, dessen Schluffanteil ab 26 cm mit linsig-flaseriger, 0° einfallender Schichtung fließend bis 69 cm zunimmt und danach unscharf in einen schwach kalkigen, tonigen Schluff- bis Feinsandstein übergeht, folgt ein hellgrauer, stark kalkiger Feinsandstein von 52 cm Mächtigkeit, dessen scharfe Basis durch eine wellige Unterkante gekennzeichnet ist. Er zeichnet sich darüber durch eine undeutlich wellige, um die 0° einfallende Schichtung und einzelne sulfidische Erzaggregate aus, die funkenartig besonders in seinem oberen Teil verteilt sind. Seine oberen 20 cm werden durch zunehmende Mittelsandigkeit und damit durch inverse bzw. Oben-Grob-Gradierung charakterisiert und bilden den Top des Rotliegend. Zuerst täuschen Entwässerungsstrukturen eine rippelartige Schichtung vor (Abb. 1). Zumindest ein Teil dieser Tellerstrukturen (dish structures) könnte durch Scherung überprägt sein. Auf diesen Feinsandstein folgt mit 30 cm Mächtigkeit der Kupferschiefer T1 als schwarzgrauer, schwach karbonatischer Tonstein. Dessen Basis wird durch eine gewellte Unterkante und außerdem durch eine 6 bis 14 mm mächtige, flaserig-linsige Aufnahme des unterlagernden Feinsandsteins unter nachträglicher, starker Bioturbation gekennzeichnet (Abb. 1). Sowohl diese basale Aufarbeitungsschicht des Kupferschiefers T1 als auch die obersten 15 bis 20 mm des liegenden Feinsandsteins sind stark sulfidisch vererzt, u. a. mit Bornit. Diese geringmächtige, bioturbate Aufarbeitungsschicht repräsentiert den gesamten TST bis zur maximalen Überflutungsfläche des Zyklus Pz1. Sie entspricht damit dem Zechsteinkonglomerat z1C aus den Bohrungen des Erkundungsobjektes Spremberg (siehe Bild d auf Taf. 1, S. 34 in GÖTHEL 2012) und stellt damit gleichzeitig die Basisschicht des Zechstein dar. Die Aufarbeitungsschicht und die möglichen Scherstrukturen im liegenden Sandstein werden als Folge eines Tsunamis interpretiert. Die im Kernmarsch über dem Kupferschiefer T1 folgenden 147 cm werden von schwarzgrauen, tonigen Kalksteinen gebildet und entsprechen lithofaziell dem Zechsteinmergel Ca1m des Zechsteinkalks Ca1. Darüber lagert mit einer scharfen Basis ein 85 cm mächtiger, schwarz- bis dunkelgrauer Floatstone mit Intraklasten und Thrombolithen. Möglicherweise repräsentieren sie bereits den LST des Zyklus Pz2. Darauf folgen dunkelgraue Kalksteine von 125 cm Mächtigkeit, die von mergeligen Lagen und vereinzelt Anhydritknauern durchsetzt sind. In den obersten 214 cm des Kernmarsches geht der Zechsteinkalk Ca1 mit zunehmender Einlagerung von weißen Anhydritknauern und Anhydritverdrängungen allmählich in den Unteren Werra-Anhydrit A1 (A1α) über. Der Grenzbecken Oberrotliegend II/Zechstein wurde in der Erkundungsbohrung Zehdenick E Zeh 2/75 leider nicht gekernt, so dass ein Vergleich anhand von Gesteinsmaterial aus der E Zeh 4/76 nicht möglich ist. Der Kernmarsch unter dem Zechstein beinhaltet aus der E Zeh 2/75 zuoberst bereits rotgrauen,

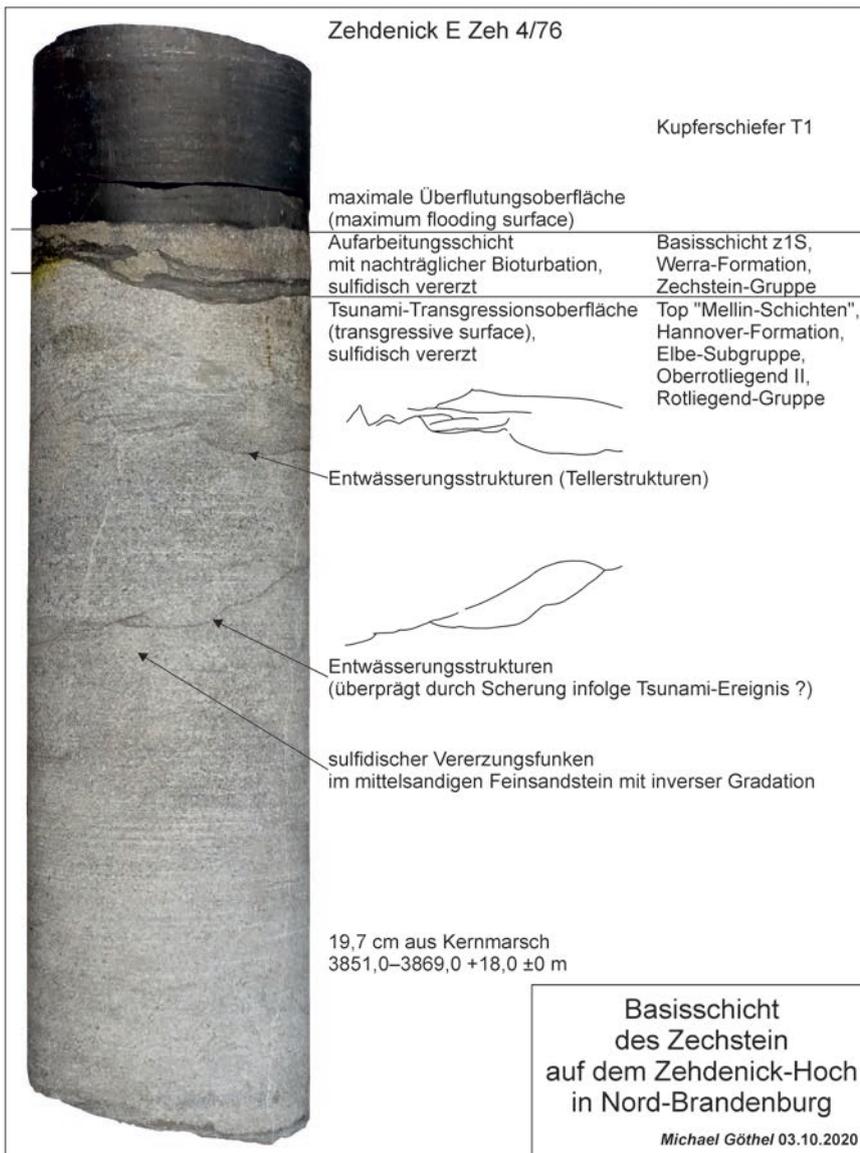


Abb. 1:  
Rotliegend/Zechstein-Grenze mit Aufarbeitungsschicht und nachträglicher Bioturbation an der Basis des Kupferschiefers T1 und der Zechstein-Gruppe

Fig. 1:  
Boundary of the Rotliegend Group/ Zechstein Group with reworked bed, and subsequently bioturbation on the base of the Kupferschiefer-black shale Member T1 and of the Zechstein Group

kalkigen Mittelsandstein des Oberrotliegend II. Die in der Erkundungsbohrung E Zeh 4/76 angetroffene geringe Mächtigkeit des Zechsteinkalks Ca1 von lediglich 3,57 m ist typisch für seine Beckenausbildung.

Der Unterer Werra-Anhydrit A1 (A1 $\alpha$ , u. a. SEIFERT 1972) wird in Thüringen und West-Sachsen in Randnähe lithofaziell vom Werra-Dolomit Ca1d als eigenständiges Schichtglied vertreten. Am Rand der Karbonat-Plattform, wie am Thüringer Schiefergebirge und in der Umrahmung des Thüringer Waldes, wird der Werra-Dolomit Ca1d von Algen-Bryozoen-Riffen und Rifflagenen-Ablagerungen eingenommen (KERKMANN 1969). Als Algen-Kalkabscheidungen von Cyanophyten sind hauptsächlich Stromatolithe (Algenmatten), Globolithe, insbesondere Pisolithe und Thrombolithe (Algenklumpen) zu verzeichnen. *Stromaria* ist als markante, flachwellige Kalkabscheidung der Werradolomit-Riffe den Rhodophyten zuzuordnen. Die verzweigten Röhren von *Tubolites* gehören zu den Chlorophyten (Codiaceae). Bereiche „oolithischer“ Lithofazies-Typen des oberen Zechstein-

kalks Ca1 (Ca1 $\gamma$ ), wie am südlichen Harzrand vorkommend, lassen darauf schließen, dass die Riff-Bildungen der Werra-Formation schon im TST des Zyklus Pz2 einsetzen. Ansonsten repräsentiert der Werradolomit Ca1d aber den HST des Zyklus Pz2. Auch nördlich Görlitz, in der Kartierungsbohrung Horka Kb HrkNi 3/62 (Zentendorf 2, Bohrung 53 in HIRSCHMANN, WOLF & LORENZ 1972), ist im geringem Maße ein „oolithischer“ Lithofazies-Typ (mit Globoiden) angetroffen worden. Gipseinschlüsse weisen aber dort auf die lithofazielle Vertretung des Unterer Werra-Anhydrits A1 durch den Werra-Dolomit Ca1d hin. Überdeckt wird der randnahe Werra-Dolomit Ca1d mit seinen Riffbildungen vom Mittleren Werra-Ton T1r (T1 $\beta$  u. a. KERKMANN 1969, SEIFERT 1972).

Im Werra-Fulda-Randbecken ist der Untere Werra-Anhydrit A1 lithofaziell als Anhydritknotschiefer ausgebildet, vertritt dort bereits zumindest zum Teil den im Pz2 gebildeten oberen Teil des Zechsteinkalks Ca1 (Ca1 $\gamma$ ) und setzt damit schon im TST des Zyklus Pz2 ein. Hauptsächlich repräsentiert der Untere Werra-Anhydrit A1 (A1 $\alpha$ ) aber den HST

des Pz2. In der Lausitz wird in bruchtektonisch kontrollierten Teiltrögen der Untere Werra-Anhydrit A1 durch das Werra-Steinsalz Na1 (Na1 $\alpha$  im Werra-Fulda-Randbecken, HAASE 1976) lithofaziell als Schichtglied vertreten (ROCKEL & ZIEGENHARDT 1979). Die Begrenzung der Teiltröge des Steinsalz-Trogos erfolgt durch die SW–NE verlaufende Bruchzone von Bronkow–Tauer (siehe Abb. 1 in GÖTHEL 2019) und nach Querung der Groß Körös–Dissen–Merzdorfer Störungszone durch ihren nach NNE abzweigenden Ast, der Tauer Störungszone (siehe Einbl. 1 mit Abb. 1 zu ELICKI & GÖTHEL 2019). Die Trogachse wird durch die SW–NE verlaufende, vom Koschenberg ausgehende Stradow–Buckower Störungszone und nach ihrem spitzwinkligen Auftreffen auf die SSW–NNE verlaufenden Hoyerswerdaer Störungszone von dieser ebenfalls bruchtektonisch bestimmt. Ihre Zergliederung durch querende, dem Unteren Werra-Anhydrit A1 (A1 $\alpha$ ) zuzuordnende Anhydritwälle nördlich des Lausitzer Hauptabbruches kann in Brandenburg auf die NW–SE verlaufende Wünsdorf–Cottbuser Schwereflanke und die NNW–SSE verlaufende Gubener Störungszone (zuletzt GÖTHEL 2019) zurückgeführt werden.

In der Lausitz wird der zum Oberen Werra-Anhydrit A1r (A1 $\beta$  u. a. SEIFERT 1972) gehörende Anhydritwall, der die Lausitzer Lagune zum Zechstein-Becken begrenzt, bruchtektonisch von der SW–NE verlaufenden Herzberger Störungszone kontrolliert. In der Lausitzer Lagune lagert er unter Fehlen von Ablagerungen, die im Werra-Fulda-Randbecken vorkommen (HAASE 1976), auf dem Unteren Werra-Anhydrit A1 (A1 $\alpha$ ). So fehlen das Kaliflöz Thüringen K1 als Topbildung des Pz2, ebenso die bei Meeresspiegel-Niedrigstand gebildete Ablagerungssequenz des LST (Lowstand Systems Tract) des folgenden Zyklus Pz3, vom Mittleren und Oberen Werra-Steinsalz Na1r (Na1 $\beta$  und Na1 $\gamma$ ) mit den dazwischen befindlichen Kaliflößen Hessen, Hattorf und ihren Begleitflößen K1r bis zum Braunroten Salzton T1r (T1 $\gamma$ ). Ursprünglich wurde der Braunrote Salzton T1r (T1 $\gamma$ ) von RICHTER-BERNBURG (1955b) als tonige Basis seiner Staßfurt-„Serie“ angesehen. Insbesondere die Ergebnisse von Bohrungen zwischen Pößneck und Bad Berka im südöstlichen Thüringer Becken belegen besonders gut die Auflagerung vom Oberen Werra-Anhydrit A1r (A1 $\beta$ ) auf dem ihm entsprechenden Oberen Werra-Ton (T1 $\gamma$ , siehe Abb. 8, S. 117 in SEIFERT 1972).

Das zuletzt in der Erkundungsbohrung Guhlen E Guln 1/2012 bei 2535 m durchteufte, sich lokal im Lagunen begrenzenden Anhydritwall befindliche, bohrlochgeophysikalisch zu erkennende Steinsalz von geringer Mächtigkeit, entspricht möglicherweise dem „Obersten Werra-Steinsalz“ (JAHNE & ZEIBIG 2002) im Werra-Fulda-Randbecken, das dort im, über dem Braunroten Salzton T1 $\gamma$  folgenden, Oberen Werra-Anhydrit A1r (A1 $\beta$ ) eingelagert ist. Es würde dann nicht dem überwiegend verbreiteten Werra-Steinsalz Na1 der Lausitzer Lagune entsprechen, wie dargestellt bei ROCKEL & ZIEGENHARDT (Abb. 4 in 1979), welches bereits dem Unteren Werra-Steinsalz Na1 $\alpha$  des Werra-Fulda-Randbeckens zuzuordnen ist. Deshalb ist zukünftig die damalige Einordnung von geringmächtigen anhydritisch-tonigen Subrosionspro-

dukten als Werra-Steinsalz-Äquivalent im Anhydrit der Lausitzer Lagune daraufhin zu überprüfen und gegebenenfalls präzise der Sequenzgrenze des Zyklus Pz3, die dem Hiatus während der Ablagerung von Mittlerem und Oberem Werra-Steinsalz Na1r sowie möglicherweise Braunrotem Salzton T1 $\gamma$  im Werra-Fulda-Randbecken entsprechen, zuzuordnen. Der reflexionsseismische Horizont Z3 zeichnet sich am besten durch den lithologischen Wechsel vom Zechsteinkalk Ca1 zum Unteren Werra-Anhydrit A1 in Kombination mit dem Werra-Steinsalz Na1 durch Z3' in der Lausitzer Lagune ab (vergleiche Taf. 1 mit Tab. 3 in RAPPILBER et al. 2019).

Im Werra-Fulda-Randbecken wird der Obere Werra-Anhydrit A1r (A1 $\beta$ ) zuoberst lithofaziell vom „Oberen Werradolomit Ca1do“ vertreten. Lithostratigraphisch ist er jedoch bereits dem Staßfurt-Karbonat Ca2 zuzuordnen und repräsentiert den TST des Zyklus Pz3. Ebenso in Kombination mit den Steinsalz-Teiltrögen wird der lithologische Wechsel vom Werra-Steinsalz Na1 zum Oberen Werra-Anhydrit A1r sowie zum folgenden Staßfurt-Karbonat durch die reflexionsseismischen Horizonte Z2 und Z2' wiedergegeben.

### 2.3.2 Staßfurt-Formation

Das Staßfurt-Karbonat Ca2 bildet die Basis der Staßfurt-Formation und nicht der Braunrote Salzton T1 $\gamma$ , wie von RICHTER-BERNBURG (1955b) für seine Staßfurt-„Serie“ vorgenommen wurde. Im Werra-Fulda-Randbecken setzte es bereits im TST des Zyklus Pz3 ein und vertritt lithofaziell den Anhydritwall des Oberen Werra-Anhydrits A1r (A1 $\beta$ ). Auch in Bereichen Brandenburgs, die von syngenetischer Absenkung betroffen sind, kann das Staßfurt-Karbonat Ca2 im TST des Zyklus Pz3 einsetzen, wie das die Ergebnisse der Havarieablenkungsbohrungen Rhinow E Rhi 5h/71 und 5h2/71 zeigen. Dort wird die Absenkung durch das Rheinsberger Tiefenbruchsystem (siehe Abb. 2 in ELICKI & GÖTHEL 2019) staffelartig im Bereich des Zechstein-Beckens hervorgerufen. Die bruchtektonische Aktivität während der Bildung der Ablagerungssequenz des TST wird durch die Bildung von Seismiten belegt, wie sie in der ersten Havarieablenkungsbohrung Rhinow E Rhi 5h/71 angetroffen wurden (Taf. 2: Kernprobe g).

Grundsätzlich sind nach dem Ablagerungsmilieu drei Lithofazies voneinander zu unterscheiden, die zum einen vom vorgegebenen Relief der Werra-Formation, insbesondere durch die Anhydritwälle des Oberen Werra-Anhydrits A1r (A1 $\beta$ ), und zum anderen weiter bruchtektonisch bestimmt werden (ROCKEL & ZIEGENHARDT 1979, PISKE & SCHRETZENMAYR 1984, PISKE & BLESCHERT 1986, SCHRETZENMAYR & PISKE 1986, PISKE & ZAGORA 1986, STROHMENGER, ROCKENBAUCH & WALDMANN 1998). Die Ablagerung der Karbonat-Plattform setzte Richtung Plattformrand über verkarstem Oberen Werra-Anhydrit A1r (A1 $\beta$ ) und dann über Unterem Werra-Anhydrit A1 (A1 $\alpha$ ) mit der maximalen Überflutung im Zyklus Pz3 der Lausitzer Lagune ein (siehe Titelbild der Brandenburg. geowiss. Beitr. **19** zu GÖTHEL 2012). Über dem

als Untiefe wirkenden SW–NE verlaufenden Anhydritwall, der in der Werra-Formation die Lausitzer Lagune mit den Steinsalz-Teilbecken zum Zechstein-Becken begrenzt und bruchtektonisch von der Herzberger Störungszone kontrolliert wird, wurde eine Karbonatsand-Barre abgesetzt, die als Hauptdolomit lithofaziell den Stinkkalk der Lagunen- vom Stinkschiefer der Beckenausbildung begrenzt.

Als vordergründige Lithofazies-Typen der Karbonatsand-Barre sind Grainstones und Floatstones bis Rudstones zu nennen, wie sie aus der Erkundungsbohrung Mittweide E Mwd 6/77 vorliegen (Taf. 2: Kernprobe a). Die Barre entwickelte sich mit Zwischenschaltung von Ablagerungen des restriktiven Ablagerungsmilieus der Lagune. Dem Ablagerungsmilieu der Barre sind als Merkmale Rippelschichtungen und Schrägschichtungssets zusammengeschwemmter Pisoide, Onkolithe und Algenklumpen zuzuordnen. blieb ihr Porenraum von einer diagenetischen Zementation (JUDERSLEBEN & VOIGT 1993) verschont, können sie beste Kohlenwasserstoff-Porenspeicher bilden und sind deshalb nach wie vor hauptsächlich Ziel der Erdöl-/Erdgas-Erkundung. Tempestite im basalen Bereich und Schill-Anhäufungen vor allem im Übergangsbereich zum restriktiven Ablagerungsmilieu der Lagune lassen auch auf Sturmereignisse schließen, die zur Zusammenschwemmung von Lagunenmaterial im Bereich der Barre mit beitragen. Eine inverse bzw. Oben-Grob-Gradierung, auch im Zusammenhang mit Fischgräten-Schichtung auftretend, leitet eine Oben-Grob-Parasequenz mit Floatstones bis Rudstones ein. Sie bildet den oberen, eigentlichen Teil der Karbonatsand-Barre und belegt zusammen mit ihren Merkmalen die Verflachung des Ablagerungsmilieus und unterstreicht die Zuordnung zum HST.

Der Stinkkalk hingegen wird von dunklen, bituminösen Mud- bis Packstones, die durch hellere Algenmatten und Algenmatten-Grainstones typisch feingeschichtet sein können, charakterisiert. Als Lagunen-Ablagerung können ebenso Feinpellets oder Mikro-Ooide und einzelne Ooide in Schichtungssets mit HCS (Hummocky Cross Stratification, Taf. 2: Kernprobe e) zusammengeschwemmt sein. Dabei kann der Beulentop einer Sequenz durch senkrechte Grabspuren angebohrt sein, was auf kurzzeitige Omission (Sedimentationsunterbrechung) schließen lässt. Auch tempestitische Schilllagen sind im Stinkkalk zu verzeichnen. Bei nachträglicher  $\text{CaCO}_3$ -Lösung von Fossilschill und von Kalzit verheilte Klüfte können Kluft- und Kavernenspeicher hauptsächlich im Stinkkalk ausgebildet sein, wie sie aus den Kartierungsbohrungen des Erkundungsobjektes Uckro (Taf. 2: Kernprobe e) von den Flanken des NNW–SSE verlaufenden Walddrehaer Grabens vorliegen. Dort sind besonders große Kavernen durch Kalzit-Lösung in Bereichen intensiver Zertrümmerung zu verzeichnen. Vor allem aber sind die Kluft- und Kavernenspeicher auf die Intrasalinartektonik in der Lausitzer Lagune zurückzuführen. Dort wird die Intrasalinartektonik durch das mächtigere Untere Werra-Steinsalz Na1 der Teilbecken im Liegenden ermöglicht und durch Reaktivierung der Bruchtektonik ausgelöst (ZIEGENHARDT 1976a, 1976b). Sie bestimmt den Intrasalinarbau der Strukturen Tauer und

Guben, wovon insbesondere das Staßfurt-Karbonat Ca2 und der Hauptanhydrit A3 von Verfaltungen betroffen sind. Weiter können strukturinterne, intrasalinartektonische Antiklinalen gebildet werden, wie sie im Staßfurt-Karbonat Ca2 über dem Wellmitzer Steinsalz-Teilbecken der Werra-Formation seismisch erkundet wurden (BEER, MEYER & MOLDENHAUER 1993) und mit WSW–ENE verlaufenden Antiklinalachsen den Nordteil der Struktur Guben prägen.

Infolge der dextralen Seitenverschiebungen (NW–SE: insbesondere die Groß Körös–Dissen–Merzdorfer Störungszone, NNW–SSE: Fürstenwalder und Gubener Störungszone, zuletzt GÖTHEL 2019) sowie durch die dazwischen befindlichen NW–SE verlaufenden Störungen wird infolge ihrer schrägen Querung der Verlauf der Karbonatsand-Barre buchtenartig in der Lausitz modifiziert. Zusätzlich erfolgte eine Kippung von Leistenschollen, deren gehobenen Enden Richtung Zechstein-Becken und am Beckenhang sich als Plattform-Hochlagen bzw. -Inseln (Off-Platform-High) herausbildeten und auf denen ebensolche Karbonatsande und weitere hochenergetische Karbonat-Bildungen wie Geröllterrassen und Schillanhäufungen abgelagert wurden. Einige im Hauptdolomit eingelagerte mächtigere Anhydrite können auf ein zeitweises Trockenfallen von Pfannen durch Evaporation infolge verdunstungsbedingter Übersättigung der hochsalinaren Wässer zurückgeführt werden.

Besonders deutlich zeigt sich die Progradation der Ablagerungssequenz des HST mit der Verzahnung von Grainstone-Turbiditen, als Umlagerungsprodukte aus der Karbonatsand-Barre, und dem feingeschichteten, bituminösen Stinkschiefer am Beckenhang, wie es zuletzt die Kernstrecke des Staßfurt-Karbonats Ca2 aus der geeigneten Ablenkungsbohrung der Erkundungsbohrung Reudnitz E RdnBk 2a/2014 zeigt (Taf. 2: Kernprobe f). Dabei können sich die Turbidite durch eine deutliche basale Schilllage auszeichnen. Ansonsten tritt Schill verteilt im Grainstone auf. Mit dem Niedrigstand des Meeresspiegels im LST des folgenden Zyklus Pz4 und einer damit einhergehenden Verflachung des Ablagerungsmilieus wird die Abtragung des Staßfurt-Karbonats Ca2 der Karbonat-Plattform insbesondere von seinen Hochlagen (Karbonatsand-Barre, Off-Platform-High) intensiviert. Deren Abtragungsschutt kann zu einem karbonatischen LST-Keil (Carbonatic Lowstand Wedge) am Beckenhang verfrachtet werden, der sich mit dem Basalanhydrit A2 verzahnt (STROHMENGER, ROCKENBAUCH & WALDMANN 1998). Aus seiner Position am Rand der Karbonatsand-Barre heraus ist anzunehmen, dass der debritische Abtragungsschutt aus dem unteren Teil der Kernstrecke des Staßfurt-Karbonats Ca2 der Erkundungsbohrung Briescht E Bct 1/83, charakterisiert von Karbonat-Debriten (Taf. 2: Kernprobe b), Stromatolith-Brocken (Taf. 2: Kernprobe c) und Brachiopoden-Mollusken-Coquina (Taf. 2: Kernprobe d), dem LST-Keil des Pz4 zuzuordnen ist. Dafür sprechen auch Rutschungs- und Gleitstrukturen aus dem oberen Teil der Kernstrecke sowie die Zwischenschaltung von Anhydrit-Lagen infolge der lithofaziellen Verzahnung mit dem Basalanhydrit A2.

Der Basalanhydrit A2 greift über den zu Zeiten des LST teils magnesitisierten Top oder die verkarstete Plattform des Staßfurt-Karbonats Ca2 im TST des Zyklus Pz4 über. Der darauffolgende lithologische Wechsel vom Anhydrit zum Steinsalz erzeugt besonders deutlich den reflexionsseismischen Horizont Z1 (vergleiche Taf. 1 mit Tab. 3 in RAPPILBER et al. 2019), der in der geringmächtigen Beckenausbildung den basalen Zechstein von den mächtigen Steinsalz-Schichtgliedern der Staßfurt- und Leine-Formation, die nach BGBI. I S. 1074 (2017) für eine Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in Frage kommen, trennt.

Im Zechstein-Becken wird das Staßfurt-Steinsalz Na2 vom Decksteinsalz Na2r durch das Kaliflöz Staßfurt K2 getrennt, welches als letztes Produkt der Evaporation im HST den Top des Zyklus Pz4 bildet. Als Ablagerung des folgenden LST ist das Decksteinsalz Na2r im Bereich der Plattform nicht ausgebildet. Hier lagert der Gebänderte Deckanhydrit A2r als letztes Schichtglied der Staßfurt-Formation dem Staßfurt-Steinsalz Na2 auf und repräsentiert bereits den TST des Zyklus Pz5.

### 2.3.3 Leine-Formation

Der Graue Salzton T3 bildet die Basis der Leine-Formation. Zum Rand hin ist er sandig ausgebildet und wird z. T. vom darüber folgenden Plattendolomit Ca3 lithofaziell vertreten. Als Leitbank kann im Grauen Salzton T3 eine magnesitische Bank auftreten (SCHIRMEISTER 1971), die dem untersten Teil des Plattendolomits Ca3 mit Magnesit-Kristallen entspricht (LANGBEIN 1971). Bei vollständiger Ausbildung wird der Plattendolomit Ca3 zuoberst durch echte Ooide, Cyanophyten-Stromatolithe, -Onkolithe und Chlorophyten-Dolomite charakterisiert (LANGBEIN & SEIDEL 1979), was für eine Verflachung seines Ablagerungsmilieus wie im Hauptdolomit des Staßfurt-Karbonats Ca2 spricht. Grauer Salzton T3 mit ausgebildeten Magnesit-Sphärolithen in der Erkundungsbohrung Dörrwalde Brk Dwd A45/92 belegt sein Vorkommen in Brandenburg bis zum Lausitzer Hauptabbruch, was ein weitreichenderes Übergreifen des Zyklus Pz5 über den Lausitzer Block als zuvor belegt. Daraus ist zu schließen, dass die Basis des Grauen Salztons T3 nicht nur die maximale Überflutungsfläche im Zyklus Pz5 abbildet, sondern gleichzeitig im gesamten Zechstein und damit synchron die eines eustatischen Zyklus 2. Ordnung. Beide Schichtglieder sind als Ablagerungssequenz dem HST des Zyklus Pz5 zuzuordnen. Am Beckenhang verzahnt sich der Plattendolomit Ca3 mit dem Hauptanhydrit A3, der im Zechstein-Becken dem Grauen Salzton T3 auflagert. LANGBEIN (1973) konnte aus dem Gebiet Ost-Thüringens anhand seiner Schichtgliederung zeigen, dass der Hauptanhydrit A3 auf immer älter werdenden Schichten des Plattendolomits Ca3 auflagert. Das kann als Hinweis für seine Abtragung zur Zeit des LST im Zyklus Pz6 dienen. Damit würde der Hauptanhydrit A3 über der Plattform des Plattendolomits Ca3 lediglich den TST des Zyklus Pz6 abbilden.

Der deutlichste reflexionsseismische Horizont in der Leine-Formation kann der Horizont X2 sein, der den lithologischen Wechsel vom Hauptanhydrit A3 zum Unteren Leine-Steinsalz Na3 nachzeichnet, in Gebieten intensiver Intrasalinartektonik jedoch verwischt wird. Wie Unteres Werra-Steinsalz Na1 und Staßfurt-Steinsalz Na2 repräsentiert das Untere Leine-Steinsalz Na3 den HST eines eustatischen Zyklus 3. Ordnung, dessen Ablagerungssequenz im Zechstein-Becken ebenfalls von einem Kaliflöz abgeschlossen wird – in der Leine-Formation ist es das Kaliflöz Ronnenberg K3 (K3Ro). In Brandenburg wurde es mit der Erkundungsbohrung Rüdersdorf E RüdFu 10/51 bereits sicher nachgewiesen (KÖLBEL 1961), ist aber in Brandenburg überwiegend anhydritisch vertaubt. In der Beckenausbildung folgen darüber das Mittlere und Obere Leine-Steinsalz Na3r, wobei ebenso als Schichtglied das Anhydritmittelsalz A3r/Na3r („Mittlerer Leineanhydrit“, ZENTRALES GEOLOGISCHES INSTITUT 1980) dazwischen meist ausgebildet sein kann, so in der Erkundungsbohrung Neutrebbin E Ntr 1/68 mit 12 m Mächtigkeit. Diese Schichtglieder repräsentieren den überwiegenden LST-Anteil des Zyklus Pz7. Dem Kaliflöz „Bergmannsseggen“ K3r könnte lithofaziell das Anhydritmittel 1 (von 4, siehe Abb. 2 in STOLLE et al. 1975) im Kalibergrabauevier Zielitz auf der Scholle von Calvörde in Sachsen-Anhalt entsprechen, wofür dort seine Durchsetzung z. T. als pegmatitartige Verwachsungen mit Kalisalzen und Kieserit sowie der relativ geringe Abstand von ca. 10 m zum Kaliflöz Ronnenberg K3 (K3Ro) im Liegenden spricht (REICHENBACH 1976). Damit würde das Anhydritmittelsalz A3r/Na3r (ehemalige „Anhydritmittelzone“, u. a. KÖLBEL 1961) von Brandenburg und Sachsen-Anhalt nicht dem von Gorleben in Niedersachsen entsprechen, das dort außerdem nicht nur 4, sondern 7 bohrlochgeophysikalisch erkennbare Anhydritmittel (siehe insbesondere Abb. 15, S. 91 in BORNEMANN et al. 2008) beinhaltet.

In Brandenburg trennt mit ihrer Ausbildung die Anhydrit-hauptbank (E Ntr 1/68: 2,5 m) das Obere Leine-Steinsalz Na3r vom Tonmittelsalz T3r/Na3r (E Ntr 1/68: 4,8 m). Ob sie das Kaliflöz Riedel K3r (K3Ri) als Vertaubung lithofaziell vertritt, ist noch nicht abschließend geklärt. In der Bohrung Rüdersdorf VI/1898 wurden die Carnallit-Streifchen, in der Bohrung Rüdersdorf RüdFu I/1895 die kieseritischen Laminae mit Carnallit-Spuren und in der Bohrung Sperenberg Sper X/01 (10/01) die Kieserit-Spuren im Steinsalz zwischen Oberem Leine-Steinsalz („Schwadensalz“) Na3r und Tonmittelsalz T3r/Na3r dem Kaliflöz Riedel K3r (K3Ri) zugeordnet (KÖLBEL 1961, GOTTESMANN 1969).

Zum Verständnis älterer Erkundungsberichte und Publikationen sind an dieser Stelle die Begriffe „Ronnenberg-Gruppe“ und „Riedel-Gruppe“ (u. a. KÖLBEL 1961) der Leine-Formation zu erklären. In der „Ronnenberg-Gruppe“ wird das Untere Leine-Steinsalz Na3 und das Mittlere Leine-Steinsalz Na3r mit dem dazwischen befindlichen Kaliflöz Ronnenberg K3 (K3Ro) zusammengefasst. Die „Riedel-Gruppe“ setzt mit dem Anhydritmittelsalz A3r/Na3r (ehemalige „Anhydritmittelzone“, u. a. KÖLBEL 1961) ein und schließt mit dem Tonmittelsalz T3r/Na3r ab. Ob das Kaliflöz

„Bergmannsseggen“ lithofaziell von einem „Mittleren Leine-Anhydrit“ im Mittleren Leine-Steinsalz vertreten wird oder ob es, wie oben dargelegt, zur untersten Anhydritbank vom Anhydritmittelsalz A3r/Na3r vertauht, wäre durch zukünftige geologische Erkundungen zu klären.

Vertritt der Obere Leine-Ton T3r lithofaziell das Tonmittelsalz T3r/Na3r („Oberstes Leinsteinsalz mit Tonmitteln“, ZENTRALES GEOLOGISCHES INSTITUT 1980), ist er bohrlochgeophysikalisch anhand älterer Ergebnisse nicht vom Roten Salzton T4 zu trennen, weshalb er ihm dann zugeordnet wird. Zusammen schließen sie den LST des Zyklus Pz7 ab.

### 2.3.4 Aller-Formation

Über dem Roten Salzton T4, als Basis der Aller-Formation, folgt der Pegmatitanhydrit A4, der den TST des Zyklus Pz7 repräsentiert. Der Grenzbereich Pegmatitanhydrit A4 und Unteres Aller-Steinsalz Na4 kann durch erhöhte Kalium-Werte gekennzeichnet sein. Möglicherweise hängen damit auch die erhöhte Gamma-Intensität im Top des Pegmatitanhydrits A4, die hohen Brom-Werte an der Basis des Unteren Aller-Steinsalzes Na4 (Bohrung Fehmarn Z1/75, KÄDING 2003) und die deutlich verbreitet auftretende Polyhalit-Führung im basalen Unteren Aller-Steinsalz Na4 zusammen. Wie in den Zyklen Pz2, Pz4 und Pz6 wird der HST hauptsächlich von Steinsalz gebildet, wobei der HST im Zechstein-Becken wiederum mit Kalisalzen als letztes Schichtglied der Evaporation abschließt. Auch in der nördlichen Altmark Sachsen-Anhalts ist es durchteuft worden (Erkundungsbohrung Salzwedel E Sw 2/64, KÄDING 2003) In der Aller-Formation Brandenburgs kann das Kaliflöz des zentralen Zechstein-Beckens im Rosensalz mit sehr geringen Kalisalz-Anteilen lithofaziell vertreten sein.

Das Obere Aller-Steinsalz Na4r wird von Anhydritmitteln und tonigen Einlagerungen gekennzeichnet. Zuerst kann in Rinnen noch das Streifensalz ausgebildet sein (KÄDING 2003). Infolge der Phase des Niedrigstandes des Meeresspiegels des folgenden Zyklus Pz8 ist das Obere Aller-Steinsalz entweder primär in Richtung Rand nicht abgelagert oder wird von seinen tonigen und sulfatischen Residualprodukten, speziell vom ehemaligen „Grenzanhydrit A4r“ (RICHTER-BERNBURG 1955b) bzw. „Oberem Alleranhydrit“ / „Mittlerem Allersteinsalz“ (ZENTRALES GEOLOGISCHES INSTITUT 1980) aber auch vom Oberen Aller-Ton T4r, vertreten. Die in der Vergangenheit als „Grenzanhydrit A4r“ bezeichnete Anhydritbank ist damit entweder als Ablaugungsprodukt des Oberen Aller-Steinsalz Na4r zu verstehen oder den Anhydrit-Schichtgliedern der folgenden Ohre- und Friesland-Formation zuzuordnen, die als Parasequenzen zusammen mit den Steinsalz-Schichtgliedern der Ohre-, Friesland- und Fulda-Formation den LST des Zyklus Pz8 abbilden.

Mit den Oberen Zechsteinletten (SEIFERT 1972, ZENTRALES GEOLOGISCHES INSTITUT 1980) kann die pelitische Siliziklastika-Randfazies bereits in Nord-Deutschland das Untere

Aller-Steinsalz Na4 bedecken. Sie entsprechen der ehemaligen „Unteren Übergangsfolge Nh1.1“, dem untersten Teil der ehemaligen „Nordhausen-Folge Nh“ in Nord-Deutschland. Im östlichen Thüringer Becken befindet sich die Basis der Oberen Zechsteinletten bereits über dem Hauptanhydrit A3 bzw. seinen subrodierten Residualprodukten (HECHT 1980) oder sogar über dem Plattendolomit Ca3 (u. a. im Plattendolomit-Tagebau Caaschwitz, S. 75–79 in SCHNEIDER et al. 2014, SCHOLZE et al. 2017).

### 2.3.4 Ohre- und Friesland-Formation

Die Zuordnung von Ohre- und Friesland-Formation sowie dem Mölln-Steinsalz Na7 (LEPPER 1993) im zentralen Zechstein-Becken als mögliches lithofazielles Äquivalent des randnäheren Basis-Sandsteins der Fulda-Formation zum LST des Zyklus Pz8 erklärt, warum es in diesen Formationen niemals zu einem vollständig ausgebildeten, klassisch erklärten „Evaporit-Zyklus“ (RICHTER-BERNBURG 1955a) kommen konnte. Mit Separierung der Friesland-Formation besteht die Ohre-Formation lediglich aus dem Salzbrockenton T5 (ehemaliger „Unterer Ohreton“, ZENTRALES GEOLOGISCHES INSTITUT 1980), gefolgt vom Lagenanhydrit A5 (ehemaliger „Unterer Ohreanhydrit“, ZENTRALES GEOLOGISCHES INSTITUT 1980) und dem Ohre-Steinsalz Na5.

Der Friesland-Formation sind als Friesland-Ton T6 der ehemalige „Obere Ohreton“ (ZENTRALES GEOLOGISCHES INSTITUT 1980), als Grenzanhydrit A6 der ehemalige „Obere Ohreanhydrit“ (ZENTRALES GEOLOGISCHES INSTITUT 1980) sowie das nur im zentralen Beckenteil außerhalb Brandenburgs verbreitete Friesland-Steinsalz Na6 und Friesland-Kaliflöz K6 (FRISCH & KOCKEL 2004) zuzuordnen. Der tatsächliche Grenzanhydrit (Grenzanhydrit einschließlich Oberer Grenzanhydrit, REICHENBACH 1976) ist somit im Friesland-Anhydrit A6 zu sehen, der in Brandenburg das Zechsteinsalinär im Top abschließt. In Nord-Brandenburg, etwa ab Berlin, belegen das die litho- und sequenzstratigraphischen Neuinterpretationen der bohrlochgeophysikalischen Ergebnisse, ausgehend von der Erkundungsbohrung Neutrebbin E Ntr 1/68 im Osten, über die Erkundungsbohrungen Wriezen E Wriz 1E/85, Zehdenick E Zeh 2/75, Zootzen E ZooGs 1/75, Eldena E Ela 1/74 bis zur Erkundungs- und Forschungsbohrung Pröttlin E Pröt 1/81 im Nordwesten sowie auch die Erkundungsbohrungen Lubolz E Lubz 1/87 und Mittweide E Mwd 6/77 in der nördlichen Lausitz.

### 2.3.5 Fulda-Formation und Abgrenzung der Zechstein- zur Buntsandstein-Gruppe bzw. zur Calvörde-Formation

In der Fulda-Formation sind nur im zentralen Beckenteil Evaporite ausgebildet, bisher in Brandenburg aber nicht nachgewiesen. Sie werden zuunterst vom Mölln-Steinsalz Na7 und dem darauffolgenden Mölln-Anhydrit A7r gebildet (LEPPER 1993). In Brandenburg, wie auch in Sachsen-

Anhalt und Thüringen, werden diese Schichtglieder vom Unteren Bröckelschiefer B1 lithofaziell vertreten.

Auf die erosive Auflagerung der pelitisch-sandigen Übergangsfazies zum Buntsandstein unter Bildung einer Schichtlücke im östlichen Thüringer Becken weist insbesondere schon HECHT (1980) hin. Diese ehemalige „Übergangsfolge“ wurde in der Vergangenheit als unterer Teil der ehemaligen „Nordhausen-Folge“ dem Unteren Buntsandstein zugeordnet (VEB GEOLOGISCHE FORSCHUNG UND ERKUNDUNG HALLE 1974). Sie umfasst als „Unterer Teil der Übergangsfolge su<sub>1</sub>“ außerdem noch die Ohre- und die Friesland-Formation. Ihre Erosionsdiskordanz ist als Sequenzgrenze des Pz8 unter Fehlen von Ablagerungen des LST im randnahen Bereich mit seinen vorangegangenen Plattform-Ablagerungen zu interpretieren. Darauf lagern nach HECHT (1980) im östlichen Thüringer Becken ebenfalls mit einer Erosionsdiskordanz das „Konglomerat der Übergangsfolge“ und der „Obere geflaserte Teil der Übergangsfolge su<sub>2</sub>“. Im Raum Pölzig sind sie hauptsächlich als Unten-Grob-Sequenzen (fining upward sequences) ausgebildet und deshalb als Parasequenzen dem TST des Pz8 zuzuordnen. Lediglich der „Obere geflaserte Teil der Übergangsfolge“ lässt undeutlich auch die Ausbildung von Oben-Grob-Sequenzen (coarsening upward sequences) zuoberst erkennen. Sie entsprechen der Fulda-Formation bzw. als Schichtglieder dem Unteren Bröckelschiefer B1 und dem Oberen Bröckelschiefer B2 (BECKER 2005). Mit der „Unteren Sandstein-Tonstein-Wechselfolge“ schließt die „Übergangsfolge (su<sub>1</sub>)“ bei HECHT (1980) ab, gehört aber mit der Ausbildung von Ooiden oder Onkoiden bereits zum untersten Teil der Calvörde-Formation des Unteren Buntsandstein.

Die Basis der Calvörde-Formation und damit des Unteren Buntsandstein wird mit der Basis des Rogensteins  $\alpha 1$  bzw. seines sandigen Faziesäquivalents definiert (LEPPER 1993, KÄDING 2000). Auf die Zuordnung ihrer 10 bis 11 Sequenzen (BECKER 2005), jeweils mit Rogensteinen bzw. ihren sandigen Äquivalenten beginnend, lässt ihre Ausbildung als Unten-Grob-Sequenzen (fining upward sequences) zum TST als Parasequenzen schließen.

Zum Verständnis der lithostratigraphischen Zuordnung in Brandenburg ist auf die Benennung von Schichtgliedern und Schichten benachbarter Bundesländer in weiteren älteren Publikationen einzugehen. Nach SCHULZE (1969) bildet der Rogenstein  $\alpha 1$  zusammen mit dem Graubankbereich ab dem Rogenstein  $\alpha 2$  den oberen Teil seiner „Sandstein-Schieferton-Zone“ für die Scholle von Calvörde. Dem folgte PETER (1983) für den Raum Bernburg–Nienburg im östlichen Subherzynen Becken. Danach würden dort die Fulda-Formation den unteren Teil der „Sandstein-Schieferton-Zone“ und der „Bröckelschiefer“ mit einer Mächtigkeit von etwa 10 m den pelitischen Abschnitt bis zum Zechsteinsalinar bilden. Dem gegenüber bezeichnete RADZINSKI (1995) im südlichen Sachsen-Anhalt den Bereich unter dem Rogenstein  $\alpha 1$  bis zur „graugrünen Grenz-

bank“ als „Bröckelschiefer“, wobei der „Schluffstein-Sandstein-Horizont“ den Basissandstein seines „Oberen Bröckelschiefers“ und die „graugüne Grenzbank“ den Top der Friesland-Formation bilden. Ebenso bildet die „graugüne Grenzbank“ auch den Top der Friesland-Formation in Nord-Thüringen (S. 14 in SEIDEL 2004). Dem „Schluffstein-Sandstein-Horizont“ könnte der Malchin-Sandstein der ehemaligen „Malchin-Folge“ in Mecklenburg-Vorpommern (SCHÜLER 1976) als Pendant der ehemaligen „Nordhausen-Folge Nh“ entsprechen.

Meine litho- und sequenzstratigraphischen Neuinterpretationen der bohrlochgeophysikalischen Ergebnisse aus den Erkundungsbohrungen Pröttlin E Pröt 1/81, Eldena E Ela 1/74 (Abb. 1, Beil. in GÖTHEL 2016), Zootzen E ZooGs 1/75, wahrscheinlich auch Döbern E DoFo 102/62 und E DoFo 204/63) legen nahe, den Malchin-Sandstein als Basissandstein des Oberen Bröckelschiefer B2 anzusehen. In Brandenburg kann darunter ein weiterer Sandstein auftreten, der das Zechsteinsalinar überlagert und in den Erkundungsbohrungen Eldena E Ela 1/74, Großziethen E GrziKWh 1/73, Mittweide E Mwd 6/77 durchteuft wurde. Er wäre dann als Basissandstein des Unteren Bröckelschiefer B1 bzw. der Fulda-Formation zu interpretieren. Dafür spricht seine Auflagerung auf dem Friesland-Anhydrit A6 unter Fehlen von Friesland-Steinsalz Na6 in Brandenburg. Der ehemaligen „Übergangsfolge“ (SCHÜLER 1976) wäre demzufolge der Abschnitt unter dem Malchin-Sandstein bzw. unter dem Basissandstein des Oberen Bröckelschiefer B2 zuzuordnen. Daraus ist zu schlussfolgern, dass mit dem Fulda-Basissandstein eine „Obere Übergangsfolge Nh1.2“, die dem Unteren Bröckelschiefer B1 entspricht, von einer „Unteren Übergangsfolge Nh1.1“, die der randnahen Ausbildung von Ohre- und Friesland-Formation entspricht, abgrenzbar ist. In Brandenburg befindet sich daher die „Untere Übergangsfolge Nh1.1“ der ehemaligen „Nordhausen-Folge Nh“ also noch unter der Fulda-Formation und gehört damit zu den Oberen Zechsteinletten, die in der Lausitzer Lagune noch voll und ganz Ohre- und Friesland-Formation mit geringmächtigen Anhydritbänken nicht abgelaugter Profile mit umfassen.

Der reflexionsseismische Horizont X1 bildet nur grob den Top des Zechsteinsalinars ab, da er als Minimum den lithologischen Wechsel von Steinsalz zu Anhydriten gebietsweise an unterschiedlicher lithostratigraphischer Position nachzeichnet (vergleiche Taf. 1 mit Tab. 3 in RAPPSILBER et al. 2019). Im randnahen Ablagerungsraum, wie im Gebiet der Struktur Mulkwitz in der Lausitz, oder in ablaugungsbetroffenen Gebieten kann er sich schon an der Basis des Pegmatitanhydrits A4 befinden. Hauptsächlich wird er in Brandenburg vom Top des Unteren Aller-Steinsalzes Na4 oder vom Top des Ohre-Steinsalzes Na5 wiedergegeben. Das Pendant zum Horizont X1 stellt der reflexionsseismische Horizont T9 dar, der den lithologischen Wechsel von Evaporiten zu Peliten und damit die Basis der ehemaligen „Nordhausen-Folge Nh“ bzw. die Basis der Oberen Zechsteinletten bzw. die Basis der Bröckelschiefer B1 und B2 der Fulda-Forma-

tion nachzeichnet. Beide reflexionsseismischen Horizonte bilden daher nicht die Grenze vom Zechstein zum Buntsandstein ab, sondern befinden sich wesentlich tiefer, wie die Ergebnisse der Vertikalprofilierungen in Erkundungsbohrungen zeigen (Eldena E Edn 1/74: Top Ohre-Steinsalz Na5, Potsdam E P 1/73: Basis Friesland-Ton, Zehdenick E Zeh 2/75: Top Ohre-Steinsalz Na5, Mittweide E Mwd 6/77: Top Ohre-Steinsalz Na5).

### 3 Chronostratigraphische Zuordnung der Zechstein-Gruppe

Zur chronostratigraphischen Korrelation des Zechstein (Taf. 1) können bei multistratigraphischer Analyse einige Bausteine beitragen (GÖTHEL 2012). Vor allem tragen dazu Ereignisse globaler Bedeutung (ISOZAKI 2009) bei, die im Kontext mit biostratigraphischen (zusammenfassend zuletzt SCHNEIDER et al. 2020), magnetostratigraphischen (u. a. LANGEREIS et al. 2010, SCHOLZE et al. 2017) und chemostratigraphischen Anhaltspunkten (SCHOLZE et al. 2017) zu betrachten sind.

Mit Conodonten erfolgt eine detaillierte Gliederung biostratigraphischer Zonen im marinen Ablagerungsraum des Perm und der Trias. Aus der Bohrung C1 im deutschen Offshore-Gebiet der Nordsee liegen mehrere Exemplare von *Merrillina divergens* aus den basalen 5,2 m des Zechsteinkalks Ca1 der Werra-Formation vor. Vor allem gelang aus dieser Bohrung in den untersten 15 cm des Kupferschiefer-Äquivalents T1 von insgesamt 45 cm Mächtigkeit der Fund von *Mesogondolella britannica* (LEGLER et al. 2005). Der FAD (First Appearance Date) von *Mesogondolella britannica* befindet sich nach der Korrelation der Conodonten-Faunen von Kaltwasser- und Warmwasser-Provinzen des Perm über der Basis der Wujiaping-Stufe (SCHNEIDER et al. 2020).

Conchostraken ermöglichen die biostratigraphische Korrelation des marinen mit dem kontinentalen Ablagerungsraum in Gebieten ihres Wechsels. Aus der Bohrung Friedrich Heinrich 57 bei Kamp-Lintfort im Niederrhein-Gebiet liegt ein Conchostraken-Exemplar aus der Werra-Formation vor, das „*Pseudestheria petri*“ ähnelt (SCHOLZE 2019). Aus den „Schieferletten“ der Langenthal-Formation des Odenwaldes liegt aus der Bohrung Langenthal 2/2005 ein weiteres Conchostraken-Exemplar vor, welches mit *Pseudestheria chatangensis* vergleichbar ist. Die Langenthal-Formation vertritt dort mit siliziklastischen Randablagerungen den Zechstein über der Zechsteindolomit-Formation bis zum Unteren Buntsandstein, wobei die Zechsteindolomit-Formation hauptsächlich der Werra-Formation entspricht und möglicherweise zumindest noch das Staßfurt-Karbonat Ca2 umfasst. Die „*Pseudestheria petri*“–*Pseudestheria chatangensis*-Fauna setzt nach SCHNEIDER et al. (2020) im untersten Wujiaping ein. Als biostratigraphisches Intervall ersetzt die Conchostraken-Vergesellschaftung *Palaeolimnadiopsis vilujensis*–*Euestheria gutta* (SCHOLZE et al. 2017) bzw. die *Euestheria gutta*-Fauna die aufeinander

folgenden Zonen „*Falsisca eotriassica*“, „*Falsisca postera*“, „*Falsisca verchojanica*“ und „*Falsisca cf. verchojanica*“ in BACHMANN & KOZUR (2004) sowie in BACHMANN, HAUSCHKE & KOZUR (2009). Damit erfolgt jetzt die biostratigraphische Korrelation der Perm/Trias-Grenze vom marinen zum kontinentalen Ablagerungsraum (SCHNEIDER et al. 2020). Sie befindet sich somit in der Fulda-Formation und daher noch in der Zechstein-Gruppe. Daraus kann man wieder einmal konstatieren, dass die klassische Abgrenzung des Perm zur Trias (des Zechstein zum Buntsandstein), wie auch des Karbon zum Perm (des Oberkarbon zum Rotliegend) in den kontinentalen Ablagerungsgebieten Europas zutreffender ist, als das Hin-und-Her in den vergangenen 40 Jahren.

Von größter globaler Bedeutung ist eine superanoxische Periode im Superozean Panthalassa und westlich anschließender Paläotethys, die mit dem End-Guadalupean Events (ISOZAKI 2009) in Zusammenhang steht und das größte Massensterben im Phanerozoikum, im Grenzbereich Guadalupe-/Loping-Serie bzw. Capitan-/Wujiaping-Stufe eingeleitet hat, ihren Höhepunkt jedoch im Grenzbereich Perm/Trias erreichte (vergleiche Einbl. zu GÖTHEL 2018). Vom GSSP (Global Stratotype Section and Point) des Wujiaping von Penglaitan in Guanxi, südlichstes China sowie deutlicher vom benachbarten Tieqiao-Profil ist ein negativer Ausschlag von 2 bis 4‰ in der  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Carb}}$ -Kurve von Karbonat-Kohlenstoff erkennbar (Abb. 4 in YUGAN JIN et al. 2006). Mit der Transgression des Zechstein erreicht das anoxische Ablagerungsmilieu auch den Superkontinent Pangea im heutigen Mitteleuropa. Es bestimmt die Schwarzschiefer-Ablagerungen im Zechstein, die mit den maximalen Überflutungsflächen 3. Ordnung eingeleitet werden. Damit sind die euxinischen Schichtglieder Kupferschiefer T1, Stinkschiefer und Stinkkalk Ca2 sowie Grauer Salztou T3 inmitten der Evaporit-Ablagerungen des Zechstein erklärbar.

Mit den End-Guadalupean Events geht der tiefste Meeresspiegelstand im Phanerozoikum mit der Sequenzgrenze Wu1 (vergleiche Einbl. zu GÖTHEL 2018) einher, der jedoch nicht die plötzliche Meerestransgression des Zechstein mit konglomeratischen Sturmsandbarren, gefolgt vom anoxischen Ablagerungsmilieu aus den Tiefen des Panthalassa erklären kann. Diese rasante Meerestransgression an der Basis des Zechstein könnte mit einem Asteroid-Einschlag (Impakt) zusammenhängen. Dafür kommt der größte bisher bekannte Impakt des Phanerozoikums im Wilkes Land (KLOKOČNIK, KOSTELECKÝ & BEZDĚK 2018), welches sich heute im Südosten Antarktiks befindet, in Frage. Mit einem geophysikalisch erkundeten Kraterdurchmesser von über 500 km unter dem Gletscherschild am Rand Antarktiks, ehemals in Gondwana gegenüber der Südküste Australiens gelegen, musste zwangsläufig dieser Impakt einen Tsunami globalen Ausmaßes ausgelöst haben. Gerade die Sedimentstrukturen der Sturmsandbarren unter dem Kupferschiefer in Bohrungen des Erkundungsobjektes Spremberg sowie die Bioturbationen in der Zechstein- bzw. Kupferschiefer-Basisschicht aus den Bohrungen des Erkundungsobjektes

Zehdenick (siehe Abb. 1) zeigen Analogien zur Moncada-Formation in der Sierra de Los Órganos westlich La Habana in Cuba, die als Barren-Ablagerungen nach dem Tsunami des Chicxulub-Impakts bewiesen sind (ARENILLAS et al. 2016). Leider fehlen zum Wilkes Land-Impaktkrater bisher noch exakte absolute Altersdatierungen. Ob der Riftvulkanismus der Emeishan-LIP (Large Igneous Province) allein auf die westlich gerichtete Subduktion des Panthalassa unter die Paläotethys und Süd-China zurückzuführen ist oder ob zumindest die kontinentalen Flutbasalt-Ergüsse durch einen „Collisions Aggregation Effect“ eines Impakts ausgelöst wurden (ISOZAKI 2009, LIU CHENMING & DEMIN YANG 2018) wäre weiter zu erforschen. Ein relativ langer Impakt-Winter könnte zur superanoxischen Periode zumindest mit beigetragen haben, die bisher hauptsächlich im Zusammenhang mit dem Vulkanismus der Emeishan-LIP gesehen wurde (vergleiche Einbl. zu GÖTHEL 2018).

Inzwischen wird mit breiter Akzeptanz befunden, dass der Höhepunkt des Massensterbens im Perm/Trias-Grenzbereich im Zusammenhang mit dem im Westsibirischen Becken zwischen Omsk und der Kara-See sowie östlich Norilsk auf dem Sibirischen Kraton verbreiteten Sibirien-Norilsk-CFB (Continental Flood Basalts) im Zusammenhang steht (vergleiche Einbl. zu GÖTHEL 2018). Die durch einen intrakontinentalen Superplume ausgelösten, aufeinanderfolgenden Flutbasalt-Ergüsse von großer Mächtigkeit und sehr weiter Verbreitung führten zur weiteren Aufheizung der Atmosphäre (Treibhauseffekt), zu saurem Regen und insbesondere zur Anreicherung vulkanischer Aschen bis in die Stratosphäre, die eine Photosynthese nicht mehr ermöglichte. Verstärkt wurde diese globale Katastrophe zusätzlich durch die von den Magmenzuflüssen ausgehenden Kohlenflözbrände im Westsibirischen Becken. Vom GSSP (Global Stratotype Section and Point) der Perm/Trias-Grenze von Maishan in Zhejiang, östliches Süd-China, ist der deutlichste negative Ausschlag bis 3‰ in der  $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ -Kurve einige cm unter der definierten Grenze der Griesbach-Substufe erkennbar (Abb. 8 in YIN HONGFU et al. 2001) und steht mit diesen Ereignissen im Zusammenhang. Ob der Superplume ebenfalls auf einen „Collisions Aggregation Effect“ eines Impakts zurückzuführen ist, muss von der Forschung noch beantwortet werden. Dazu ist der Falklandplateau-Impakt zwischen Südamerika und Antarktika ins Spiel zu bringen (LIU CHENMING & YANG DEMIN 2018), der einen Krater von 200 km Durchmesser im ehemaligen Dreieck Patagonia–Südafrika–Ost-Antarktika auf Gondwana hinterließ (STONE & MCCARTHY 2018).

### Zusammenfassung

Die in Brandenburg vorkommenden Pelit-, Karbonatplattform- und Evaporit-Lithofazies des Zechstein werden lithostratigraphisch bis zum Schichtglied dargestellt. Damit wird in Brandenburg eine exakte Zuordnung der Steinsalz-Schichtglieder im karbonatischen und evaporitischen Zechsteinsalinar-Fazieskomplex ermöglicht, die das Stand-

ortauswahlgesetz (StandAG) seit 2017 erfordert. Nach den Mächtigkeiten der Steinsalz-Schichtglieder ist eine Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in Brandenburg nur im Staßfurt-Steinsalz Na2 und in den Leine-Steinsalzen Na3 und Na3r, in der Lausitz gegebenenfalls auch im Unteren Werra-Steinsalz Na1 möglich. Die reflexionsseismischen Horizonte werden durch markante Wechsel in der Wellenlaufzeit hervorgerufen. Ihre stratigraphischen Zuordnungen werden in der Zechstein-Gruppe vom Lithofazies-Wechsel und damit von Schichtglied-Grenzen bestimmt. Der aktuelle Kenntnisstand zur Korrelation der Zechstein-Gruppe mit der internationalen Chronostratigraphie wird abschließend dargelegt. Dazu können insbesondere globale Ereignisse genutzt werden.

### Summary

The pelite lithofacies, the carbonatic platform lithofacies, and evaporite lithofacies of the Zechstein Group occurring in Brandenburg (Germany) are lithostratigraphically described up to the member-level. This enables a precise correlation of the rock salt members within the carbonatic and evaporitic Zechsteinsalinar facies-complex as required by law since 2017 (Standortauswahlgesetz/StandAG). According to the thickness of the rock salt members, a final storage of high-level radioactive refuse is exclusively possible for Brandenburg only within the Staßfurt rock salt member Na2, and the Leine rock salt members Na3 and Na3r; for the Lausitz region – if necessary – maybe also in the lower Werra rock salt member Na1. The reflexion-seismic horizons are determined by distinctive changes in their wave-velocity. The stratigraphic position of these horizons within the Zechstein Group is determined by the characteristic change of the lithofacies, that means by member boundaries. Finally, the current knowledge of the correlation of the Zechstein Group with the international chronostratigraphic scheme, for which especially some global events can be used, is presented.

### Danksagung

Während ihrer Diplomarbeit konnten durch Frau Diana Hermann sämtliche im Bohrkern- und Probenarchiv Wünsdorf des LBGR Brandenburg archivierten Kernstrecken aus dem basalen Zechstein und seinem Liegenden von Bohrungen des Erkundungsobjektes Spremberg feldgeologisch neu aufgenommen und die infolge vorangegangener Untersuchungsarbeiten z. T. falsch bezeichneten und zugeordneten Kernkisten richtig sortiert werden. Meinem verehrten Kollegen und Lehrer, Herr Prof. Jörg Schneider, sei herzlichst für den fruchtbaren wissenschaftlichen Austausch und Argumentationsstreit, vor allem während der gemeinsamen Betreuung der Diplomarbeit von Frau Diana Hermann, gedankt. In meiner Studienzeit lernte ich in meiner Heimat Thüringen vor allem zusammen mit den Herren Dr. Thomas Heuse/chem. TLUG (†)

und Jörg Klingbeil/ehem. LAUBAG (†) viele Aufschlüsse im Raum Thal, im Raum Gera sowie im Raum Pößneck–Ranis–Saalfeld unter der Führung von Herrn „Karl“ Hans-Jörg Fengler/Wismut GmbH aus Töppeln zu studieren. An meine leider zu früh verstorbenen und befreundeten Kollegen sei an dieser Stelle dankbar erinnert. Meine Kenntnisse über die Karbonat-Lithotypen konnte ich anhand der detaillierten Aufnahmen von Kernstrecken durch Herrn Dr. Manfred Hauptmann/International Geological Consulting in Berlin für die Central European Petroleum GmbH erweitern. Herr Eckhardt Oehms/GENEXCO GmbH ermöglichte mit Übermittlung der vertikalen Teufen- und Kernmarschangaben zur geeigneten Ablenkungsbohrung E RdnBk 2a/2014 die Vervollständigung meiner Beschriftung zur Tafel 2. Herr Uwe Friske fertigte die Bohrkern-Anschliffe an und Herr Andreas Simon fotografierte die Bohrkernkerne. Beiden Kollegen gebührt mein herzlicher Dank vor allem für ihre Geduld, die sie für meine Wünsche aufbrachten. Auch der Aufbau der Bohrkerndatenbank für das LBGR durch Herrn Andreas Simon erwies sich als außerordentliche Hilfe. Insbesondere aber danke ich Herrn Prof. Olaf Elicki/TU Bergakademie Freiberg für die Durchsicht und Herrn Dr. Hans Ulrich Thieke/Berlin für die kritische Korrekturlesung des Manuskripts.

## Literatur

- ARENILLAS, I., ARZ, J. A., GRAJALES-NISHIMURA, J. M., MELÉNDEZ, A. & R. ROJAS-CONSUEGRA (2016): The Chicxulub impact is synchronous with the planctonic foraminifera mass extinction at the Cretaceous/Paleogene boundary: new evidence from the Moncada section, Cuba. – *Geological Acta* **14**, 1, S. 35–51, 7 Abb., 1 Tab.
- BACHMANN, G. H. & H. W. KOZUR (2004): The Germanic Triassic: correlations with the international chronostratigraphic scale, numerical ages and Milankovitch cyclicity. – *Hallesches Jahrb. Geowiss.* **B 26**, S. 17–62, 13 Abb.
- BACHMANN, G. H., HAUSCHKE, N. & H. W. KOZUR (2009): Buntsandstein Cyclicity and Conchostracan Biostratigraphy of the Halle (Saale) Area, Central Germany. – 6th International Field Workshop on the Triassic of Germany, September 12–13, 2009. – Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Geowissenschaften, 30 S., 18 Abb.
- BECKER, A. (2005): Sequenzstratigraphie und Fazies des Unteren und Mittleren Buntsandsteins im östlichen Teil des Germanischen Beckens (Deutschland, Polen). – *Hallesches Jahrb. Geowiss. Reihe B, Beiheft* **21**, 117 S., 38 Abb., 9 Tab., 8 Taf., 4 Anhänge, 7 Anl.
- BEER, H., MEYER, W. & E. MOLDENHAUER (1993): Geophysikalisch-geologischer Bau und Beziehungen zur Such- und Erkundungsmethodik – dargestellt am Beispiel der Plattformlagune Wellmitz. – *Z. geol. Wiss.* **21**, 3/4, S. 261–272, 9 Abb.
- BGBI. I S. 1074 (2017): Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz – StandAG) vom 5. Mai 2017. – 18 S., 12 Anl.
- BORNEMANN, O., BEHLAU, J., FISCHBECK, R., HAMMER, J., JARITZ, W., KELLER, S., MINGERZAHN, G. & M. SCHRAMM (2008): Description of the Gorleben Site Part 3: Results of the geological surface and underground exploration of the salt formation. – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 223 S., 50 Abb., 5 Tab., 7 Anl.
- EISENTRAUT, O. (1939): Der niederschlesische Zechstein und seine Kupferlagerstätte. – *Archiv Lagerstättenforschung* **71**, 116 S., 5 Abb., 2 Taf.
- ELICKI, O. & C. BREITKREUZ (2016): Die Entwicklung des Systems Erde. – 296 S., Lehrbuch Springer Spektrum
- ELICKI, O. & M. GÖTHEL (2019): Neue Ergebnisse mikropaläontologischer Untersuchungen (Foraminiferen) aus Kernstrecken der mittleren Kreide (Alb bis Coniac) Südost- und Nord-Brandenburgs: Biostratigraphie, fazielle und regionalgeologische Interpretation. – *Brandenburg. geowiss. Beitr.* **26**, 1/2, S. 61–105, 5 Abb., 6 Tab., 10 Taf., 3 Einbl.
- FRISCH, U. & F. KOCKEL (2004): Der Bremen-Knoten im Strukturnetz Nordwest-Deutschlands – Stratigraphie, Paläogeographie, Strukturgeologie. – *Berichte, Fachbereich Geowissenschaften* **223**, Universität Bremen, XVI S. + 379 S., 155 Abb., 58 Tab.
- GÖTHEL, M. (2012): Aktuelle Informationen zur stratigraphischen Zuordnung eustatisch und tektonisch kontrollierter Ablagerungssequenzen des Zechsteins im Rahmen der plattentektonischen und paläogeographischen Situation zwischen Gondwana und dem geotektonischen Puzzle Europas. – *Brandenburg. geowiss. Beitr.* **19**, 1, S. 29–42, 4 Abb., 2 Taf., Titelbild
- 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, 3 Abb., 1 Tab. 1 Einbl.
- GÖTHEL, M. (2018): Stratigraphie von Brandenburg 2018. – *Brandenburg. geowiss. Beitr.* **25**, 1/2, S. 47–50, 1 Einbl.
- GÖTHEL, M. (2019): Vulkanisch geprägtes Unterrotliegend der Lausitz – Resultat postvariszischer Strike-Slip-Bewegungen an den Mitteldeutschen Abbrüchen. – *Brandenburg. geowiss. Beitr.* **26**, 1/2, S. 107–116, 2 Abb., 1 Einbl.
- GOTTESMANN, W. (1969): Paläogeographie und Kalisalzführung des Zechsteins in Südbrandenburg. – *Jb. Geol.* **2** (für 1966), S. 243–269, 8 Abb., 4 Tab.

- HAASE, G. (1976): Beitrag zur Kenntnis der Salzlagerstätte im thüringischen Werra-Kaligebiet. – *Jb. Geol.*, **7/8** (für 1971/72), S. 211–261, 9 Abb., 8 Tab., 1 Taf., 10 Beil.
- HAQ, B. U. & S. R. SCHUTTER (2008): A Chronology of Paleozoic Sea-Level Changes. – *Science* **322**, S. 64–68, 3 Abb.
- HECHT, G. (1980): Höherer Zechstein und unterer Buntsandstein in der Zeitz–Schmöllner Mulde. – *Z. geol. Wiss.* **8**, 6, S. 645 – 667, 7 Abb., 3 Tab.
- HIRSCHMANN, G., WOLF, L. & H. LORENZ (1972): Erläuterungen zur Geologischen Spezialkarte der Deutschen Demokratischen Republik 1 : 25 000, Blatt Horka–Zodel 4775/4756, Stand 1967. – Zentrales Geologisches Institut, 253 S., Anhang mit 10 Beikarten, 2 Anl.
- INTERNATIONAL COMMISSION ON STRATIGRAPHY (2020a): Stratigraphic Guide – Chapter 5. Lithostratigraphic Units. – <https://stratigraphy.org/guide/litho>, letzter Zugriff am 09.09.2020
- INTERNATIONAL COMMISSION ON STRATIGRAPHY (2020b): International Chronostratigraphic Chart. – Last updated: March 2020. – <https://stratigraphy.org/chart>, letzter Zugriff am 03.09.2020
- ISOZAKI, Y. (2009): Illawara Reversal: The fingerprint of a superplume that triggered Pangean breakup and the end-Guadalupian (Permian) mass extinction. – *Gondwana Research* **15**, S. 421–432, 6 Abb.
- JAHNE, H. & S. ZEIBIG (2002): Zur Entwicklung, Ausbildung und Verbreitung der Kaliflöze im Werra-Becken. – *Z. geol. Wiss.* **30**, 4/5, S. 327–336, 6 Abb.
- JUDERSLEBEN, G. & E. VOIGT (1993): Diagenese und Speicherraumentwicklung des Staßfurtkarbonats am Zechsteinbeckenrand Südbrandenburgs. – *Geol. Jb.* **A 131**, S. 271–303, 19 Abb.
- KÄDING, K.-C. (2000): Die Aller-, Ohre-, Friesland- und Fulda-Folge (vormals Bröckelschiefer-Folge) – Stratigraphie und Verbreitung des z4 bis z7 im Zechstein-Becken. – *Kali und Steinsalz* **13**, 14, S. 86–96
- KÄDING, K.-C. (2003): Bromprofile aus dem Zechstein 4 und 5 – ein Beitrag zur Stratigraphie der Aller- und Ohre-Folge. – *Kali und Steinsalz* 01/2003, S. 6–17, 12 Abb., 1 Tab, 1 Taf.
- KAISER, R., NÖTH, S. & W. RICKEN (2003): Sequence stratigraphy with emphasis on platform-related parasequences of the Zechstein 2 carbonate (Ca2) – the northern platform margin of the Southern Permian Basin (NE Germany). – *Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch.)* **92**, S. 54–67, 8 Abb., 1 Tab.
- KÄSTNER, H. (2000): Sedimentologisch-fazielle und stratigraphische Probleme an der Zechstein-Buntsandstein-Grenze in Thüringen – eine Kenntnisstandsanalyse. – *Beitr. Geol. Thüringen N.F.7*, S. 7–31, 9 Abb., 1 Tab., 4 Beil.
- KERKMANN, K. (1969): Riffe und Algenbänke im Zechstein von Thüringen. – *Freiberger Forschungshefte C* **252**, 85 S., 28 Abb., 2 Tab, 19 Taf.
- KLOKOČNIK, J., KOSTELECKÝ, J. & A. BEZDĚK (2018): On the detection of the Wilkes Land impact crater. – *Earth, Planets and Space* **70**:135 <https://doi.org/10.1186/s40623-018-0904-7>, 12 S., 19 Abb.
- KÖLBEL, F. (1961): Die Entwicklung des Zechsteins in Südbrandenburg. – *Z. angew. Geol.* **7**, 2, S. 58 – 63, 6 Abb., 4 Tab.
- KOWALSKI, A., DURKOWSKI, K. & P. RACZYŃSKI (2018): Zechstein marine deposits in the Wleń Graben (North Sudectic Synclinorium, SW Poland) – new insights into the palaeogeography of the southern part of the polish Zechstein basin. – *Annales Societatis Geologorum Poloniae* **88**, S. 321–339, 9 Abb., 2 Tab.
- LANGBEIN, R. (1971): Zur Petrographie und Lithostratigraphie des Thüringer Plattendolomits (Z3). – *Geol.* **20**, 1, S. 22–37, 9 Abb.
- LANGBEIN, R. (1973): Das Sedimentationsmodell des Plattendolomits (Ca3) in Ostthüringen. – *Z. geol. Wiss.* **1**, 1, S. 65–72, 3 Abb.
- LANGBEIN, R. & G. SEIDEL (1979): Zur Ausbildung des Leinekarbonats am Südrand des Thüringer Beckens. – *Z. geol. Wiss.* **7**, 8, S. 967–980, 9 Abb.
- LANGEREIS, C., G., KRIJGSMAN, W., MUTTONI, G. & M. MENNING (2010): Magnetostratigraphy – concepts, definitions, and applications. – *Newsletter on Stratigraphy* **43**, 3, S. 207 – 233, 12 Abb.
- LEGLER, B., GEBHARDT, U. & J. W. SCHNEIDER (2005): Late Permian non-marine–marine transitional profiles in the central Southern Permian Basin, northern Germany. – *Int. J. Earth. Sci. (Geol. Rundsch.)* **94**, 5/6, S. 851–862, 8 Abb.
- LEPPER, J. (1993): Beschlüsse zur Festlegung der lithostratigraphischen Grenzen Zechstein/Buntsandstein/Muschelkalk und zu Neubenennungen im Unteren Buntsandstein in der Bundesrepublik Deutschland. – *N. Jb. Mh.* (1993), 11, 687–692
- LIU CHENMING & YANG DEMIN (2018): A Possible Cause of the Siberian LIPs: „Collisions Aggregation Effect“ of an Aerolite Impact. – *Earth Sciences* **7**, 3, S. 98–106, 7 Abb.

- PETER, H. (1983): Zur lithostratigraphisch-chemischen Gliederung der Nordhausen- und Bernburg-Folge des Buntsandsteins im Raum Bernburg – östliche Subherzynne Senke. – *Z. angew. Geol.* **29**, 1, S. 32–38, 4 Abb., 3 Tab.
- PIECZONKA, J., PIESTRZYŃSKI, A. & Z. SAWLOWICZ (2010): Part B. Sediment-hosted copper-silver deposits in the Lubin–Glogow mining district (Poland). – In: AWDANKIEWICZ, M., PIECZONKA, J., PIESTRZYŃSKI, A. & Z. SAWLOWICZ (Eds.): Late Palaeozoic post-orogenic volcanism in the Sudetes Mts. and the Kupferschiefer-type Cu-Ag ore deposits in the Fore-Sudetic Monocline, SW Poland – *Acta Mineralogica-Petrographica, Field Guide Series* **18**, S. 17–33, 23 Abb., 3 Tab.
- PISKE, J. & K.-H. BLESCHERT (1986): Karbonatgenese und Kohlenwasserstoff-Bildung unter geologisch-zeitlichen Aspekten. – *Z. geol. Wiss.* **14**, 1, S. 95–98, 1 Abb.
- PISKE, J. & S. SCHRETZENMAYR (1984): Sedimentationszyklen im Staßfurtkarbonat und ihre Modifikation durch azyklische Vorgänge.–*Z. geol. Wiss.* **12**, 1, S. 83–100, 7 Abb., 2 Tab.
- PISKE, J. & K. ZAGORA (1986): Karbonatgenese und Kohlenwasserstoff-Bildung unter geologisch-zeitlichen Aspekten. – *Z. geol. Wiss.* **14**, 4, S. 499–516, 11 Abb.
- POSZYTEK, A. (2014): Reservoir properties of the Upper Rotliegend and the Weissliegend sandstones (Permian) in the Zielona Góra Basin (western Poland). *Geological Quarterly* **58**, 1, S. 193–206, 12 Abb., 1 Tab.
- RADZINSKI, K.-H. (1995): Zur Gliederung der Trias im Süden von Sachsen-Anhalt. – *Z. geol. Wiss.* **23**, 1/2, S. 43–62, 11 Abb.
- RAPPSILBER, I., GÖTHEL, M., KÖHLER, E., KÜSTERMANN, W., LANGE, W., MALZ, A., OBST, K & A. SIMON (2019): Dr. Hans-Günter Reinhardt (14.5.1929–28.5.2018) – Seine Arbeiten im VEB Geophysik Leipzig als Grundlage moderner Untergrundmodelle der nordostdeutschen Bundesländer. – *Z. Dt. Ges. Geowiss. (German J. Geol.)* **170**, 1, S. 27–45
- REICHENBACH, W. (1976): Der Zechstein 3 in seiner Beckenausbildung unter besonderer Berücksichtigung des Flözes Ronnenberg (dargestellt am Profil der Scholle von Calvörde). – *Jb. Geol.*, **5/6** (für 1969/70), S. 367–450, 19 Abb., 11 Tab., 10 Beil.
- RENTZSCH, J. (1965): Die feinstratigraphisch-lithologische Flözlagenparallelisierung im Kupferschiefer am Südrand des norddeutschen Zechsteinbeckens. – *Z. angew. Geol.* **11**, 1, S. 11–14, 4 Abb.
- RICHTER-BERNBURG, G. (1955a): Über saline Sedimentation. – *Z. dt. geol. Ges.* **105** (für 1953), S. 593–645
- RICHTER-BERNBURG, G. (1955b): Stratigraphische Gliederung des deutschen Zechsteins. – *Z. dt. geol. Ges.* **105** (für 1953), S. 843–854, 1 Abb., 1 Taf.
- ROCKEL, W. & W. ZIEGENHARDT (1979): Strukturelle Kriterien der Lagunenbildung im tieferen Zechstein im Raum südlich von Berlin. – *Z. geol. Wiss.* **7**, 7, S. 847–860, 6 Abb.
- SCHIRRMESTER, U. (1971): Zur Feinstratigraphie des Grauen Salztons und seiner Übergänge im Nordteil der DDR. – *Z. angew. Geol.* **17**, 6, S. 230–239, 13 Abb., 5 Tab.
- SCHNEIDER, J. W., RÖSSLER, R., WERNEBURG, R., SCHOLZE, F. & S. VOIGT (2014): Part II, The Carboniferous–Permian basins in Saxony, Thuringia, and Saxony-Anhalt of East Germany. – In: SCHNEIDER, J. W., OPLUŠTIL, S. & F. SCHOLZE (Hrsg.): CPC-2014 Field Meeting on Carboniferous and Permian Nonmarine – Marine Correlation July 21st–27th, Freiberg, Germany – Excursion Guide. – *Wissenschaftliche Mitteilungen des Instituts für Geologie der TU Bergakademie Freiberg* **46**, S. 55–121, Abb. 43–101
- SCHNEIDER, J. W., LUCAS, S. G., SCHOLZE, F., VOIGT, S., MARCHETTI, L., KLEIN, H., OPLUŠTIL, S., WERNEBURG, R., GOLUBEV, V. K., BARRICK, J. E., NEMYROVSKA, T., RONCHI, A., DAY, M. O., SILANTIEV, V. V., RÖSSLER, R., SABER, H., LINNEMANN, U., ZHARINOVA, V. & SHU-ZONG SHEN (2020): Late Paleozoic–early Mesozoic continental biostratigraphy – Links to the Standard Global Chronostratigraphic Scale. – *Paleoworld* **29**, 2, S. 186–238, 19 Abb.
- SCHOLZE, F. (2019): The fossil record of Late Permian conchostracans from Germany. – In: HARTENFELS, S., HERBIG, H.-G., AMLER, M. R. W. & M. ARETZ (Eds.): 19th International Congress on the Carboniferous and Permian, Cologne, July 29–August 2, 2019 – Abstracts. – *Kölner Forum für Geologie und Paläontologie* **23**, S. 281–282, 1 Abb.
- SCHOLZE, F., WANG, X., KIRSCHER, U., KRAFT, J., SCHNEIDER, J. W., GÖTZ, A. E., JOACHIMSKI, M. M. & V. BACHTADSE (2017): A multistratigraphic approach to pinpoint the Permian-Triassic boundary in continental deposits: The Zechstein–Lower Buntsandstein transition in Germany. – *Global and Planetary Change* **152**, S. 129–151, 12 Abb., 1 Tab., 4 Online-Anhänge
- SCHRETZENMAYR, S. & J. PISKE (1986): Methodische Fortschritte der paläostrukturellen Analyse zur relativen Altersdatierung geologischer Prozesse in Sedimentkomplexen. – *Z. geol. Wiss.* **14**, 1, S. 99–103, 4 Abb.
- SCHULZE, G. (1969): Der Untere Buntsandstein der Scholle von Calvörde und benachbarter Gebiete. – *Geol.* **18**, 1, S. 5–20, 9 Abb., 1 Tab.

- SCHÜLER, F. (1976): Der Buntsandstein im Nordosten der DDR. – Jb. Geol., **7/8** (für 1971/72), S. 81–86, 6 Abb., 3 Beil.
- SCHÜLER, F. & G. SEIDEL (1991): Zur Ausbildung der Zechstein/Buntsandstein-Grenze in Ostdeutschland. – Z. geol. Wiss. **19**, 5, S. 539–547
- SEIDEL, G. (2004): Zur Faziesdifferenzierung des Zechsteins in Nordthüringen. – Beitr. Geol. Thüringen **N.F.11**, S. 5–17, 6 Abb., 1 Beil.
- SEIFERT, J. (1972): Das Perm am Südostrand des Thüringer Beckens. – Jb. Geol. **4** (für 1968), S. 97–179, 22 Abb., 2 Tab., 2 Taf., 1 Beil.
- STONE, P. & D. MCCARTHY (2018): Were the Falkland islands hit by a giant asteroid 250 million years ago? – Falkland Islands Journal **11**, 2, S. 42–54, 8 Abb.
- STOLLE, E., REICHENBACH, W., BÖHM, G., LIEBISCH, K. & S. LORENZ (1975): Genetische Aspekte der vertikalen und horizontalen Qualitätsgliederung des Flözes Ronnenberg (Zechstein 3) auf der Scholle von Calvörde und ihre Bedeutung für die Erkundung. – Z. geol. Wiss. **3**, 2, S. 143–155, 10 Abb.
- STROHMENGER, C., ROCKENBAUCH, K. & R. WALDMANN (1998): Fazies, Diagenese und Reservoirentwicklung des Zechstein 2-Karbonats (Ober-Perm) in Nordostdeutschland. – Geol. Jb. **A 149**, S. 81–113, 6 Abb., 2 Tab., 4 Taf.
- VEB GEOLOGISCHE FORSCHUNG UND ERKUNDUNG HALLE (1974): Stratigraphische Skala der DDR – Trias. – Fachbereichsstandard Geologie, Stratigraphie, TGL 25234/11, Staatssekretariat für Geologie, Berlin 06.08.1974, 17 S., 1 Abb., 6 Tab.
- ZENTRALES GEOLOGISCHES INSTITUT (1980): Stratigraphische Skala der DDR – Perm. – Fachbereichsstandard Geologie, Stratigraphie, TGL 25234/12, Ministerium für Geologie, Berlin 10.06.1980, 18 S., 7 Tab.
- ZIEGENHARDT, W. (1976a): Bau und Genese salinartektonisch angelegter Strukturen des Staßfurtkarbonats im Zechstein der Lausitz – Teil 1: Charakteristik des Strukturbaus. – Z. angew. Geol. **22**, 1, S. 3–10, 6 Abb.
- ZIEGENHARDT, W. (1976b): Bau und Genese salinartektonisch angelegter Strukturen des Staßfurtkarbonats im Zechstein der Lausitz – Teil 2: Strukturgenetische Interpretation. – Z. angew. Geol. **22**, 3, S. 106–113, 4 Abb.
- ZIMMERMANN, E. (1936): Geologische Karte von Preussen und benachbarten deutschen Ländern, Lieferung **292** (Lieferung 202 der 1. Auflage), Erläuterungen zu Blatt Goldberg und Schönau Nr. 2821 und 2885. – 2. Auflage, Preussische Geologische Landesanstalt, 120 S., 1 Abb.
- YIN HONGFU, ZHANG KEXIN, TONG JINNAN, YANG ZUNYI & WU SHUNBAO (2001): The Global Stratotype Section and Point (GSSP) of the Permian-Triassic Boundary. – Episodes **24**, 2, S. 102–114, 9 Abb., 2 Tab.
- YUGAN JIN, SHU-ZONG SHEN, HENDERSON, C. M., XIANG-DONG WANG, WEI WANG, YUE WANG, CHANG-QUN CAO & QUING-HUA SHANG (2006): The Global Stratotype Section and Point (GSSP) for the boundary between the Capitanian and Wuchiapingian stage (Permian). – Episodes **29**, 4, S. 253–262, 8 Abb.

**Anschrift des Autors:**

Michael Göthel  
Landesamt für Bergbau,  
Geologie und Rohstoffe Brandenburg  
Inselstraße 26  
03046 Cottbus  
Michael.Goethel@lbgr.brandenburg.de

**Anhang: Lithofazies an der Basis des Zechstein in der „Rote Fäule“-Vererzungsfazies und in Schwellenposition aus der Erkundungsbohrung Spremberg Cu Sp 80/60:**

Die Grenze zwischen den Schichtgliedern Kupferschiefer T1 und Zechsteinkalk Ca1 (mit der basalen Zechsteinmergel-Lithofazies Ca1m) ist neu interpretiert.  
(Kupferschiefer T1: 5 cm Mächtigkeit, Zechsteinmergel Ca1m: 108 cm Mächtigkeit).

**Appendix: Lithofacies at the base of the Zechstein Group within the “Rote Fäule” metallization facies and on ridge position at the exploration drilling Spremberg Cu Sp 80/60:**

The boundary between the Kupferschiefer-black shale Member T1 and the Zechstein-limestone Member Ca1 (with the basal Zechstein-marl lithofacies Ca1m) is new interpreted.  
(Kupferschiefer-black shale Member T1: 5 cm, Zechstein-marl lithofacies Ca1m: 108 cm):

Hangendes: Zechsteinkalk Ca1 bis 1370,37 m (unkorrigierte Kernkistenangaben)

Kernmarsch 1384,2 – 1385,9 +2,2 +0,5 m (unkorrigierte Kernkistenangaben), ab 1,28 m vom Kopf:

- Ca1m
3. 13 cm Mergelkalkstein, graugrün, Rotfleckung, flaserig von mergeligen Lagen durchsetzt, **mit Crinoiden-Gliedern**
  2. 30 cm Kalkstein, dicht, feinkristallin, hellgraubraun, grün getönt, Rotfleckungen
  1. 50 cm Mergelkalkstein, graugrün, Rotfleckung, flaserig von mergeligen Lagen durchsetzt

Kernmarsch 1385,9 – 1387,7 +1,5 –0,1 m (unkorrigierte Kernkistenangaben):

- Ca1m
4. 9,0 cm Kalkstein, dicht, feinglimmerig, grau, grün getönt, Rotfleckung
  3. 0,2 cm Mergelsteinlage, grauschwarz, schwach wellig
  2. 1,8 cm Kalkstein, dicht, feinglimmerig, grau, grün getönt
  1. 4,0 cm Kalkstein, dicht, feinglimmerig, grau, grünlich getönt, Rotfleckung, von hauchdünnen Mergellagen durchzogen, **häufig Crinoiden-Glieder** (Bild h auf Taf. 1, S. 34 in GÖTHEL 2012)
- T1
5. Top, 0,2 cm Mergellage, grau bis dunkelrot, wellige Unterkante
  4. 1,8 cm Kalkstein, dicht, feinkristallin, feinglimmerig, 5° einfallend, grau, rot getönt, Rotfleckung, wellige Unterkante mit Quarz-, Lydit-, und Feldspat-Körnern
  3. 0,4 cm Kalkstein mit Quarz-Sandsteinlagen (Quarz-„Mikrokonglomerate“ laut Schichtenverzeichnis)
  2. 1,6 cm schwach dolomitischer Kalkstein, grau bis braubraun, mit Quarz- und Gesteinskörnern
  1. 1,0 cm sandiger, dolomitischer Mergelstein, graugrün/braunrot geschichtet, Unterkante leicht wellig mit 3 bis 5° einfallend

Liegendes: Oberrotliegend (bis zur Endteufe 1410 m)

4. 6 cm Mittelsandstein, kalkig (nicht dolomitisch), hauptsächlich Quarz-, untergeordnet Feldspat-Körner, hellrot bis violett
3. 17 cm Mittelsandstein, obere und untere 4 cm stark kalkig, sonst schwach kalkig und dolomitisch, hellgrau, rosa getönt, nach unten grau bis rotviolett fleckig werdend
2. 19 cm Mittelsandstein, kalkig, hauptsächlich Quarz-, untergeordnet Feldspat-, und Lydit-Körner, hellrotbraun bis hellrotviolett, zuoberst schwarz gepunktete Schrägschichtungslamelle mit gebleichtem, hellerem Saum, 15° einfallend
1. 88 cm Sandstein, kalkig und dolomitisch, nach unten sehr schwach kalkig aber weiter dolomitisch, Quarz- und Gesteinskörner, hellrotviolett und blassrosa gefleckt, undeutlich 3° einfallend geschichtet

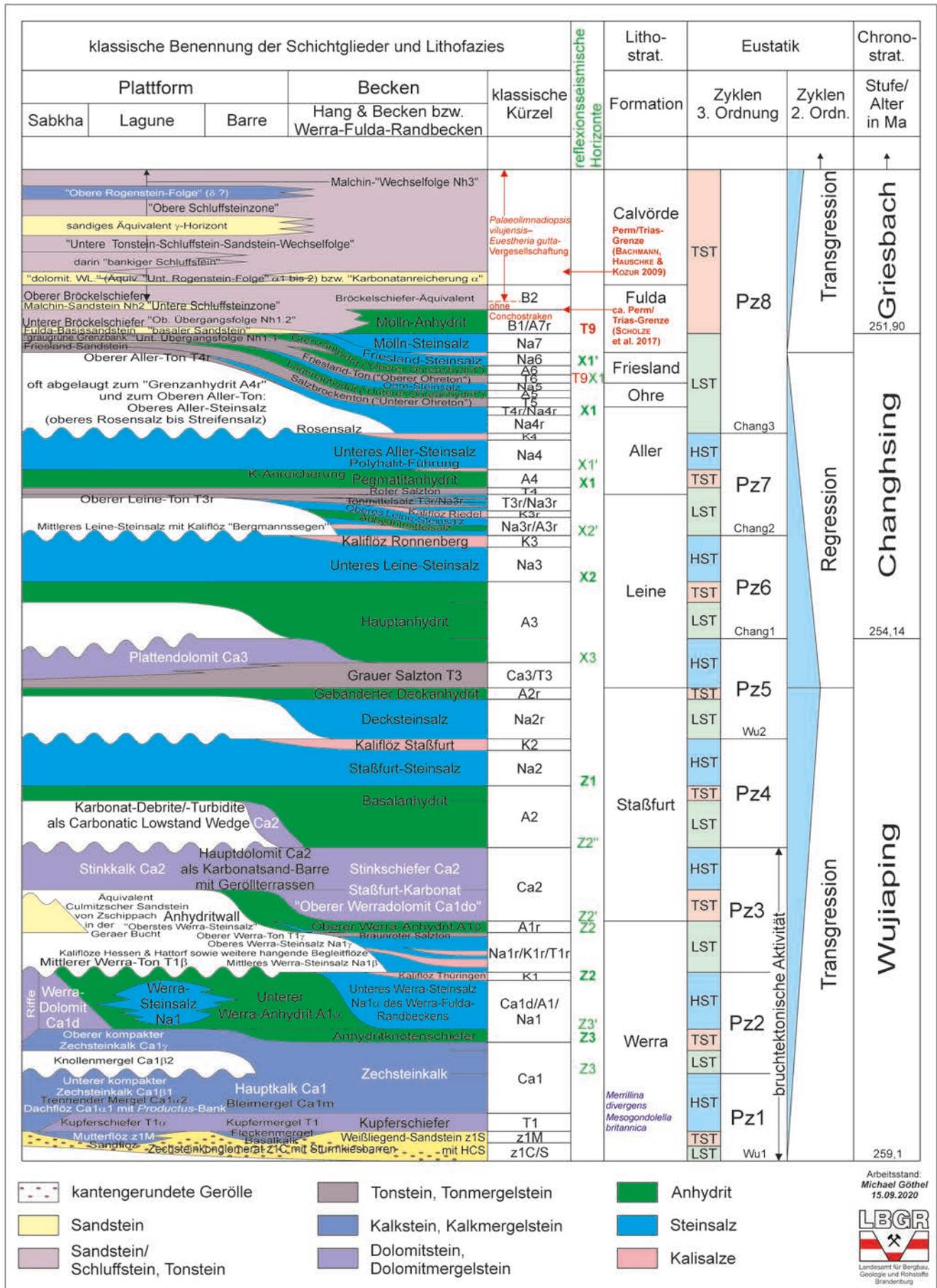
**Tafel 1: Schema zur Lithostratigraphie für die Evaporit-/Karbonat-Plattformfazies und Evaporit-Beckenfazies der Zechstein-Gruppe sowie für die pelitische Rand- und pelitisch-sandige Übergangfazies zur Buntsandstein-Gruppe**

zur Korrelation eustatisch und tektonisch kontrollierter Ablagerungssequenzen ohne Berücksichtigung der in Brandenburg nicht vorkommenden sandigen Randfazies während der Ablagerung des karbonatischen und evaporitischen Zechsteinsalinar-Fazieskomplexes

**Plate 1: Lithostratigraphic scheme for the evaporite-/carbonate-platform facies, and the evaporite basin facies of the Zechstein Group as well as of the pelitic marginal facies, and pelitic-sandy transitional facies into the Buntsandstein Group**

for the correlation of the eustatic and tectonically controlled depositional sequences, without consideration of the not occurring (in Brandenburg) sandy marginal facies during the deposition of the carbonatic and evaporitic Zechsteinsalinar facies-complex

LST – Lowstand Systems Tract, TST – Transgressive Systems Tract, HST – Highstand Systems Tract  
(in consideration of BACHMANN, HAUSCHKE & KOZUR 2009, BORNEMANN et al. 2008, FRISCH & KOCKEL 2004, HAASE 1976, HAQ & SCHUTTER 2008, INTERNATIONAL COMMISSION ON STRATIGRAPHY 2020b, JAHNE & ZEIBIG 2002, KÄDING 2003, KAISER, NÖTH & RICKEN 2003, KÄSTNER 2000, KÖLBEL 1961, KOWALSKI, DURKOWSKI & RACZYŃSKI 2018, LANGBEIN 1973, LEGLER, GEBHARDT & SCHNEIDER 2005, RADZINSKI 1995, REICHENBACH 1976, RICHTER-BERNBURG 1955b, SCHOLZE et al. 2017, SCHÜLER 1976, SCHÜLER & SEIDEL 1991, SEIFERT 1972, VEB GEOLOGISCHE FORSCHUNG UND ERKUNDUNG HALLE 1974, ZENTRALES GEOLOGISCHES INSTITUT 1980)



**Tafel 2: Lithofazies-Typen des Staßfurt-Karbonats Ca2 aus Brandenburg**  
**Plate 2: Lithofacies types of the Staßfurt Carbonate Member Ca2 from Brandenburg**

Kernproben aus Bohrungen:

Bezeichnung von Erkundungsaufgabe, -objekt, Bohrungsnummer, gegebenenfalls Ersatzbohrung oder Bohrungsablenkung, Jahr des Bohrbeginns

Kernmarsch-Teufe (unkorrigierte Kernkistenangabe), Kerngewinn, Kernverlust in m

Drill core sample identification:

name of the exploration task, exploration field, drilling number, replaced – or inclined – or stepped drilling – if necessary, year of the drill beginning

core suite (uncorrected data on the core storage box), core extract, core loss in m

- a** pisolithischer Grainstone mit Partien intraklastischer Thrombolithe, flachwinkliger Schrägschichtung aus dem oberen Bereich der Karbonatsand-Barre (Ca2: 2466,8 – 2511,0 m Teufe, 44,2 m Mächtigkeit)  
 pisoidic grainstone, in parts with intraclastic thrombolites, low-angle cross-stratification from the upper part of the carbonatic sand bar (Ca2: 2466.8 – 2511.0 m depth, 44.2 m thickness)  
 14 cm core sample from the drilling Mittweide E Mwd 6/77, core suite 2464.6 – 2470.6 +6.0 ±0 m
- b** debritischer Rudstone und Packstone aus dem unteren Bereich des LST-Karbonatkeils (Ca2: 2545,2 – 2579,0 m Teufe, 33,8 m Mächtigkeit)  
 debritic rudstone and packstone from the lower part of the carbonatic lowstand wedge (Ca2: 2545.2 – 2579.0 m depth, 33.8 m thickness)  
 16 cm core sample from the drilling Briescht E Bct 1/83, core suite 2569.1 – 2572.7 +3.15 –0.45 m
- c** pisolithischer Grainstone mit Pisolith-Stromatolith-Intraklast aus dem unteren Bereich des LST-Karbonatkeils (Ca2: 2545,2 – 2579,0 m Teufe, 33,8 m Mächtigkeit)  
 ooidal pisoidic grainstone with pisolite-stromatolite intraclast from the lower part of the carbonatic lowstand wedge (Ca2: 2545.2 – 2579.0 m depth, 33.8 m thickness)  
 9 cm core sample from the drilling Briescht E Bct 1/83, core suite 2564.0 – 2569,1 +5.1 ±0 m
- d** Floatstone und Rudstone mit Brachiopoden-Mollusken-Coquina aus dem unteren Bereich des LST-Karbonatkeils (Ca2: 2545,2 – 2579,0 m Teufe, 33,8 m Mächtigkeit)  
 floatstone and rudstone with coquina of brachiopods and molluscs from the lower part of the carbonatic lowstand wedge (Ca2: 2545.2 – 2579.0 m depth, 33.8 m thickness)  
 19 cm core sample from the drilling Briescht E Bct 1/83, core suite 2564.0 – 2569,1 +5.1 ±0 m
- e** bituminöser, oolithartiger Stinkkalk aus der WNW-Flanke des Walddrehnaer Grabens (Ca2: 568,4 – 670,5 m Teufe, 102,1 m Mächtigkeit), gebildet aus Feinpellets oder Mikro-Ooiden und einzelnen Ooiden mit feinschichtiger HCS, durchsetzt von Kalzit verheilten Klüften und nachträglich gebildeten drusigen Kavernen bis 8 cm  
 bituminous, ooidal limestone (Stinkkalk lithofacies) from the WNW flank of the Walddrehna fault trough (Ca2: 568.4 – 670.5 m depth, 102.1 m thickness), formed by fine pellets or micro-ooids and few ooids, with fine hummocky cross-stratification (HCS), interfused by healed calcitic veins and finally formed drusic caverns up to 8 cm  
 22 cm core sample from the drilling Uckro Kb Uc 2E/60, core suite 622.4 – 626.8 +1,7 –2.7 m
- f** feingeschichteter Mudstone mit zwischengelagerten Grainstone-Turbiditen, mit aufgelösten Pisoiden und Schill aus dem unteren Bereich des Stinkschiefers vom Beckenhang der Karbonat-Plattform (Ca2: 2764,0 – 2804,8 m erbohrte Teufe, 40,5 m erbohrte Mächtigkeit, 2566,7 – 2586,4 m senkrechte Teufe, 19,7 m senkrechte Mächtigkeit in der geneigten Ablenkungsbohrung Reudnitz E RdnBk 2a/2014)  
 finely stratified mudstone (Stinkschiefer lithofacies) with interbedded turbiditic grainstones, partially with dissolved pisoids and shells from the lower deposits of the carbonate platform slope (transition into the basin) (Ca2: 2764.0 – 2804.8 m drilled depth, 40.5 m drilled thickness, 2566.7 – 2586.4 m vertical depth, 19.7 m vertical thickness in the inclined drilling Reudnitz E RdnBk 2a/2014),  
 50 cm core sample from the inclined drilling Reudnitz E RdnBk 2a/2014, core suite 2766.5 – 2784.65 +18.15 ±0 m (vertical: 2567.9 – 2576.8 +8.9 ±0 m)
- g** kalzitisch laminiertes Seismit, belegt durch senkrechte Achsen der Kleinfältelungen infolge Erdbeben-Erschütterung (Ca2: 4159,0 – 4173,0 m Teufe, 14,0 m Mächtigkeit)  
 calcitic laminated seismite, evidenced by the vertical axes of the crinkles due to earthquake vibration (Ca2: 4159.0 – 4173.0 m depth, 14.0 m thickness)  
 26 cm core sample from the stepped drilling Rhinow E Rhi 5h/71, core suite 4154.8 – 4170.5 +15.7 ±0 m



## Kurzmitteilung

# Karten der Wasserdurchlässigkeit des Untergrundes

## Maps of the hydraulic conductivity of the subsurface

Die dezentrale Versickerung von Niederschlagswasser ist aus wasserwirtschaftlichen, ökologischen, ökonomischen und rechtlichen Gründen ein erklärtes Ziel für das Land Berlin. Um die konzeptionelle und planerische Umsetzung und mögliche Durchführung von Maßnahmen zur orts- und naturnahen Regenwasserversickerung zu unterstützen, wurden daher landesweite Karten zur Wasserdurchlässigkeit des Untergrundes erstellt (<https://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/i222.htm>).

Da entsprechende Bodenkenndaten nicht flächenhaft, sondern nur sehr vereinzelt zur Verfügung stehen, wurden die Informationen der 160.000 Bohrungen der geologischen Landesdatenbank für diese Auswertungen genutzt. Wie für die Karten zum geothermischen Potenzial entwickelt, wurden die Gesteinsbeschreibungen bis in eine Tiefe von zehn Meter unter Geländeoberkante unter Berücksichtigung der Petrographie, Stratigraphie und Genese nach einer Plausibilitätskontrolle und Aufbereitung stark vereinfacht, zusammengefasst und in zehn Gesteinsklassen eingeordnet. Anhand eines abgeschätzten Durchlässigkeitsbeiwertes wurde für jede Schicht anschließend die Eigenschaft Wasserdurchlässigkeit „stark bis mittel“ oder „mittel bis gering“ zugewiesen.

Auf dieser Grundlage wurde für jede Bohrung die Mächtigkeit der oberen „stark bis mittel“ wasserdurchlässigen Sedimente von der Geländeoberfläche bis zur Oberkante der ersten „mittel bis gering“ wasserdurchlässigen Schicht bestimmt. Diese Vorgehensweise wurde auch ohne Berücksichtigung des oberen Bodenmeters umgesetzt, so dass sich hierbei der Abstand ab einer Tiefe von 1 m unter Geländeoberkante bis zur ersten Schicht mit der Eigenschaft Wasserdurchlässigkeit „mittel bis gering“ ergibt. Nach der Regionalisierung wurde eine an den Erfordernissen der verschiedenen Versickerungsanlagen orientierte Klasseneinteilung gewählt. Die Karte für die Mächtigkeit der „stark bis mittel“ wasserdurchlässigen Sedimente ab der Geländeoberkante ist in vier Klassen (0-1 m, 1-2 m, 2-5 m, > 5 m) eingeteilt (s. Abb. 1), während die Karte ohne Betrachtung des oberen Meters nur über drei Klassen verfügt.

Zusätzlich zu den flächenhaften Darstellungen der Mächtigkeit der oberen „stark bis mittel“ wasserdurchlässigen Schicht, können in den Karten Informationen zu den Bohrungen aufgerufen werden. Das stark vereinfachte geologische Profil, das klassifizierte geologische Profil und die

Mächtigkeit der oberen „stark bis mittel“ wasserdurchlässigen Schicht sind jeweils in Grafiken dargestellt (s. Abb. 2). Für das Urstromtal und das Panketal wird ergänzend der für die Bemessung von Versickerungsanlagen maßgebende Grundwasserflurabstand zum zu erwartenden höchsten Grundwasserstand (zeHGW) bzw. zum zu erwartenden mittleren höchsten Grundwasserstand (zeMHGW) je nach Standort im Wasserschutzgebiet bzw. außerhalb der Wasserschutzgebiete veranschaulicht.

Mit den Karten zur Wasserdurchlässigkeit des Untergrundes wird eine orientierende Planungshilfe für die dezentrale Versickerung von Niederschlagswasser angeboten; sie ersetzen nicht die standortbezogenen Untersuchungen für konkrete Vorhaben vor Ort, stellen trotz der angewendeten Vereinfachungen aber ein geeignetes Übersichtswerkzeug zur Einschätzung der Wasserdurchlässigkeit des Untergrundes in Berlin dar.

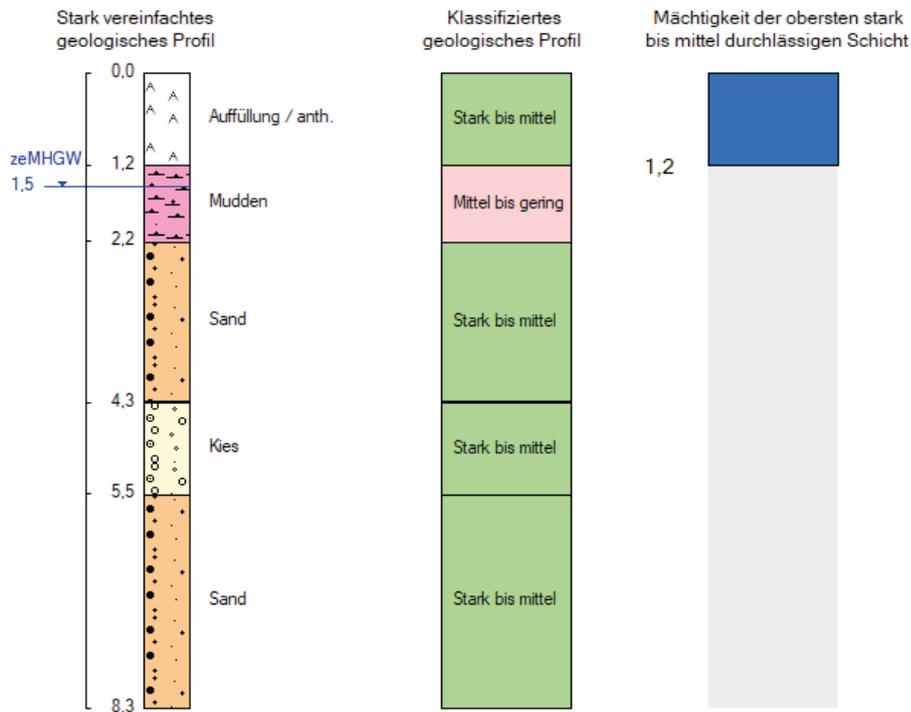
Ulrike Hörmann & Dr. Benjamin Creutzfeldt  
Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz  
Berlin - Referat II B -

*Abb. 1:  
Karte der Wasserdurchlässigkeit des Untergrundes*

*Fig. 1:  
Map of the hydraulic conductivity of the subsurface*



## Wasserdurchlässigkeit des Untergrundes



zeMHGW Grundwasserflurabstand bis zum zeMHGW: Zu erwartender mittlerer höchster Grundwasserstand im Urstrom- und Panketal (maßgeblich für die Planung von Versickerungsanlagen außerhalb von Wasserschutzgebieten)  
 Tiefenangaben in Meter unter Geländeoberkante

Bohrungsnr. 424D-6342

(weitere Informationen dazu: <https://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/222.htm>)

Abb. 2:  
 Schematische Darstellung einer Bohrung mit Angabe zur Mächtigkeit der oberen „stark bis mittel“ wasserdurchlässigen Schicht und zum Flurabstand des zeMHGW

Fig. 2:  
 Schematic diagram of a borehole with information on the thickness of the upper layer with a “high to medium” hydraulic conductivity and the depth to the expected mean highest groundwater level (EMHGW)

Brandenburg. geowiss. Beitr.	Cottbus	27 (2020), 1/2	S. 29–31	1 Abb., 5 Zit.
------------------------------	---------	----------------	----------	----------------

# Hydrogeologische Raumgliederung in Brandenburg

## Hydrogeological sub-regions in the state of Brandenburg

SILVIO JANETZ & SILKE REYES

Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL 2000) und die Europäische Grundwasserrichtlinie (EU-GWRL 2006) fordern von allen Mitgliedsstaaten eine Beschreibung der Grundwasserleiter. Dazu wurde von den Staatlichen Geologischen Diensten (SGD) in Deutschland eine bundesweit einheitliche Gliederung der oberflächennahen Hydrogeologie erarbeitet, die auf einem hierarchischen System von Hydrogeologischen Großräumen, Räumen und Teilräumen beruht. In AD-HOC-AG HYDROGEOLOGIE (2016) wurden die Hydrogeologischen Räume und Teilräume in Brandenburg nach einem bundesweit einheitlichen Verfahren beschrieben und visualisiert.

Die Hydrogeologische Kartierung in Brandenburg zeigte, dass zur verbesserten Beschreibung der Grundwasserlagerstätten eine detaillierte Aufteilung der bestehenden Teilräume erforderlich ist. Deshalb wurde mit der naturräumlichen Gliederung von SCHOLZ (1962) eine weitere Hierarchieebene eingeführt, wodurch die 75 Naturräume sinnvoll den 13 bestehenden Teilräumen zugeordnet werden konnten.

Die Hydrogeologische Raumgliederung ist an die oberflächennahe Verbreitung der Grundwasserleiter und Geringleiter der aktuellen Hydrogeologischen Karten 1:50.000 (HYK50) sowie an die Umrisse der geologischen Ablagerungen der Geologischen Übersichtskarten 1:100.000 (GÜK100) des Landes Brandenburg angepasst. Die neu überarbeitete Hydrogeologische Raumgliederung in Brandenburg beinhaltet zusätzlich die Charakterisierung der Grundwasserleitertypen im Lockergesteinsbereich in Anlehnung an BAMBERG & GARLING (1976) und bildet die Grundlage für die Beschreibung der hydrogeologischen Verhältnisse in Brandenburg. Die Flächeninformationen zur Hydrogeologischen Raumgliederung in Brandenburg sind ab sofort im LBGR-Geoportal abrufbar unter: [www.geo.brandenburg.de/lbgr/hydro](http://www.geo.brandenburg.de/lbgr/hydro) und werden in den nächsten Jahren inhaltlich und funktionell weiterentwickelt. So sollen im nächsten Schritt auch die Hydrogeologischen Teilräume des Landes Berlin in den Kartendienst aufgenommen werden.

### Literatur

BAMBERG, H.-F., GARLING, F. (1976): Zur Bestimmung des erforderlichen Aufwandes für die Erkundung von Grundwasserlagerstättentypen, Dissertation Bergakademie Freiberg, Freiberg

AD-HOC-AG HYDROGEOLOGIE (2016): Regionale Hydrogeologie von Deutschland - Die Grundwasserleiter: Verbreitung, Gesteine, Lagerungsverhältnisse, Schutz und Bedeutung. - Geol. Jb., A 163: 456 S., 264 Abb.; Hannover.

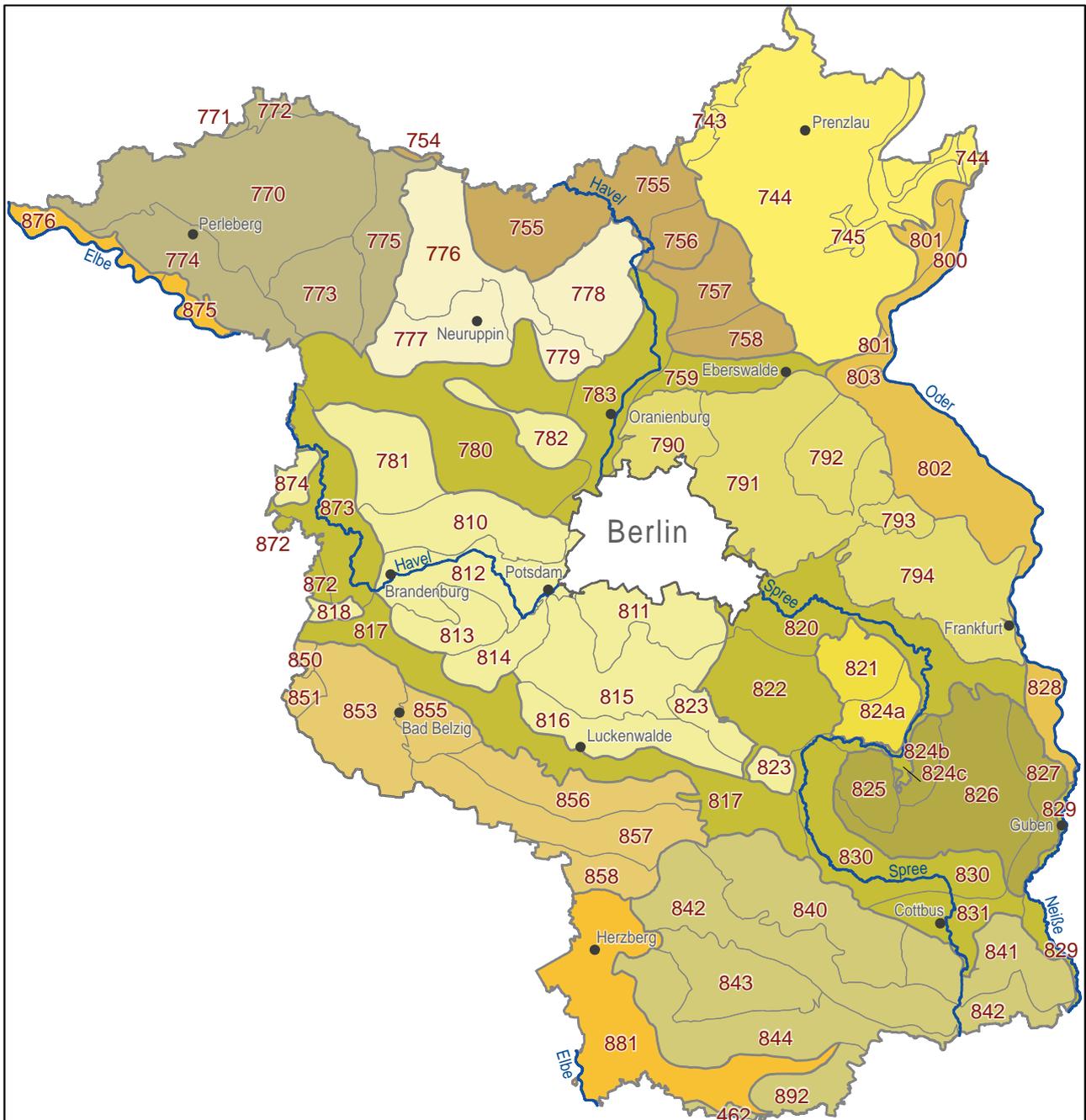
EU-WRRL (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23.10.2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.- Amtsblatt Nr. L 327 vom 22/12/2000, S. 0001–0073

EU-GWRL (2006): Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12.12.2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung.- Amtsblatt Nr. L 372 vom 27/12/2006, S. 0002–0018

SCHOLZ, E. (1962): Die naturräumliche Gliederung Brandenburgs. Pädagogisches Bezirkskabinett, 71 S., Potsdam

### Anschrift der Autoren:

Dr. Silvio Janetz  
 Dipl. Geol. Silke Reyes  
 Landesamt für Bergbau,  
 Geologie und Rohstoffe Brandenburg  
 Inselstraße 26  
 03046 Cottbus  
[Silvio.Janetz@lbgr.brandenburg.de](mailto:Silvio.Janetz@lbgr.brandenburg.de)  
[Silke.Reyes@lbgr.brandenburg.de](mailto:Silke.Reyes@lbgr.brandenburg.de)



**Legende**

**Hydrogeologische Teilräume**

- |  |  |
|--|--|
|  1301 Elbe-Niederung                                    |  1415 Barnimer und Lebusener Hochfläche                             |
|  1302 Brandenburgische Urstrom- und Nebentäler          |  1416 Beeskower Platte  |
|  1303 Odertalwanne                                      |  1417 Lieberoser Land   |
|  1408 Nordostdeutsches Jungmoränengebiet                |  1527 Fläming   |
|  1409 Mecklenburger Seenplatte                          |  1531 Südwestmecklenburg-Prignitzer<br>Altmoränen- und Sandergebiet |
|  1413 Nordbrandenburger Heide und Plattenlandschaft     |  1701 Lausitzer Becken  |
|  1414 Mittelbrandenburgische Platten<br>und Niederungen |  |

## Hydrogeologische Raumgliederung in Brandenburg

### 1301 Elbe-Niederung

875 Märkische Elbtalniederung  
876 Mittel-elbe Niederung  
881 Elbe-Elster Niederung

### 1302 Brandenburgische Urstrom- und Nebentäler

759 Eberswalder Tal  
780 Unteres/Oberes Rhinluch und Havelländisches Luch  
783 Zehdenick-Spandauer Havelniederung  
817 Baruther Tal (mit Fiener Bruch)  
820 Berlin-Fürstenwalder Spreetalniederung  
822 Dahme Seengebiet  
824c Beeskower Platte/Spreetalniederung  
829 Guben-Neißeal  
830 Malxe-Spree-Niederung  
831 Cottbuser Schwemmsandfächer  
872 Genthiner Land  
873 Untere Havelniederung

### 1303 Odertalwanne

800 Untere Odertalniederung  
801 Sandterrassen des Unteren Odertals  
802 Oderbruch  
803 Neuenhagener Sporn  
828 Fürstenberger Odertal (Eisenhüttenstadt)

### 1408 Nordostdeutsches Jungmoränengebiet

743 Woldegk-Feldberger Hügelland  
744 Uckermärkisches Hügelland  
745 Randow-Niederung

### 1409 Mecklenburger Seenplatte

754 Mecklenburgisches Großseenland  
755 Neustrelitzer Kleinseenland  
756 Templiner Platte  
757 Schorfheide  
758 Britzer Platte

### 1413 Nordbrandenburger Heide- und Plattenlandschaft

776 Wittstock-Ruppiner Heide  
777 Ruppiner Platte  
778 Granseer Platte  
779 Rühnicker Heide

### 1414 Mittelbrandenburgische Platten und Niederungen

781 Westhavelländisches Ländchen  
782 Bellin und Glin  
810 Nauener Platte  
811 Teltower Platte  
812 Brandenburg-Potsdamer Havelgebiet  
813 Lehniner Land  
814 Beelitzer Heide  
815 Nuthe-Notte-Niederung  
816 Luckenwalder Heide  
818 Karower Platte  
823 Zossen-Teupitzer Platten- und Hügelland  
874 Land Schollene

### 1415 Barnimer und Lebuser Hochfläche

790 Westbarnim  
791 Barnimer Platte  
792 Waldhügelland des Oberbarnim  
793 Buckower Hügel- und Kesselland  
794 Lebuser Platte

### 1416 Beeskower Platte

821 Saarower Hügel  
824a Beeskower Platte (NW-Teil)

### 1417 Lieberoser Land

824b Beeskower Platte (SE-Teil)  
825 Leuthener Sandplatte  
826 Lieberoser Heide und Schlaubetalgebiet  
827 Gubener Land mit Diehloer Höhen

### 1527 Fläming

850 Burg-Ziesarer Vorfläming  
851 Westliche Fläminghochfläche  
853 Zentraler Fläming  
855 Belziger Vorfläming  
856 Nördliches Fläming-Waldhügelland  
857 Östliche Fläminghochfläche  
858 Südliches Fläminghügelland

### 1531 Südwestmecklenburg-Prignitzer Altmoränen- und Sandergebiet

770 Prignitz  
771 Ruhner Berge  
772 Parchim-Meyenburger Sandflächen  
773 Kyritzer Platte  
774 Perleberger Heide  
775 Dossenniederung

### 1701 Lausitzer Becken

462 Großenhainer Pflege  
840 Luckau-Calauer Becken  
841 Cottbuser Sandplatte  
842 Lausitzer Grenzwall  
843 Kirchhain-Finsterwalder Becken  
844 Niederlausitzer Randhügel  
892 Königsbrück-Ruhlander Heide

Abb. 1: Hydrogeologische Raumgliederung in Brandenburg. Die Aufteilung der Hydrogeologischen Teilräume (vierstellige Zahlen) und Naturräume (dreistellige Zahlen) beinhaltet die jeweilige Originalnummerierung von AD-HOC-AG HYDROGEOLOGIE (2016) und SCHOLZ (1962).

Fig. 1: Hydrogeological sub-regions in the state of Brandenburg. The distribution of the hydrogeological sub-regions (four digit number) and the natural areas (three digit number) includes the original numbering by AD-HOC-AG HYDROGEOLOGIE (2016) and SCHOLZ (1962).

## Kurzmitteilung

# Das geologische Landesmodell für das Quartär und Tertiär von Berlin nun auch als interaktive 3D-Anwendung

## Berlin geological model of the Quarternary and Tertiary sediments now also available as an interactive application

Nachdem das auf einem großformatigen Touch-Screen präsentierte geologische Landesmodell auf der Ausstellung WASSERLEBEN im Rahmen der Fachmesse WASSER BERLIN INTERNATIONAL 2017 und nachfolgend in unserem Dienstgebäude viel Interesse und Zuspruch in der Öffentlichkeit gefunden hat, steht es nun auch zum Download bereit (<https://www.berlin.de/senuvk/umwelt/wasser/geologie/de/landesmodell.shtml>). Die interaktive 3D-Anwendung „Entdecke den Untergrund von Berlin!“ veranschaulicht allgemeinverständlich die Geologie des Känozoikums (Abb. 1). Zu den einzelnen stark überhöhten Ansichten der Schichten des Quartärs und Tertiärs können vertiefende Informationen zur Entstehung, Verbreitung etc. sowie entsprechende Abbildungen abgerufen werden. Weiterhin sind bedeutende Bohrungen und die Profilschnitte der Landesgeologie ebenso wie Findlinge und Pfühle mit kurzen Er-

läuterungen auswählbar. Highlight der Anwendung ist nicht nur das Vorrücken und Abschmelzen des Eisschildes der Weichsel-Kaltzeit sondern insbesondere auch die Funktionalität der virtuellen Bohrungen und Profilschnitte. Diese können individuell im und durch das gesamte Land gelegt werden und ermöglichen somit sehr anschauliche Einblicke in den Berliner Untergrund, welche unsere geologischen Vorstellungen in beeindruckender Weise realisieren.

Ulrike Hörmann & Matthias Schroeder  
Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz  
Berlin - Landesgeologie -

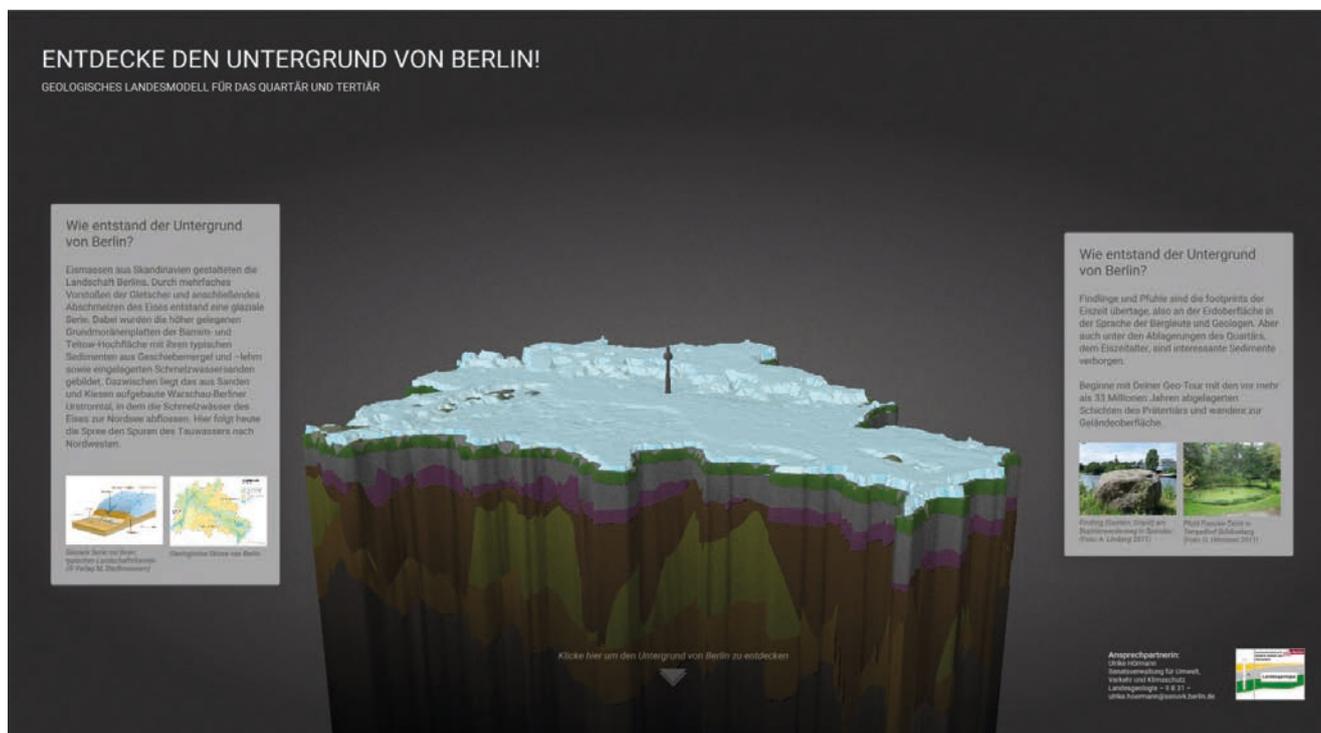


Abb. 1: Interaktive 3D-Anwendung zum geologischen Modell Berlin  
Fig. 1: Interactive application of the geological model of Berlin

Brandenburg. geowiss. Beitr.	Cottbus	27 (2020), 1/2	S. 33–46	5 Abb., 1 Tab., 52 Zit.
------------------------------	---------	----------------	----------	-------------------------

# Zur Petrographie und magnetischen Suszeptibilität rezenter litoraler Ablagerungen auf der Insel Usedom

## Petrography and Magnetic Susceptibility of Recent Litoral Sediments on the Island of Usedom

MICHAEL PIRRUNG, MARCUS BÖHM, DIRK MERTEN, MARTINA KUNZ-PIRRUNG

### 1 Einleitung und Fragestellung

Die Insel Usedom ist die östlichste deutsche Ostseeinsel, der östliche Teil gehört zur Republik Polen (Abb. 1). Im Folgenden werden für die bessere Lesbarkeit die deutschen Ortsbezeichnungen verwendet, da das Untersuchungsmaterial nahezu ausschließlich aus dem deutschen Anteil Usedom stammt. Die Barriere-Insel liegt südwestlich der Pommerschen Bucht und nördlich bis östlich des Kleinen Stettiner Haffs und der Boddengewässer Achterwasser, Krummer Wiek und Peenestrom. Die Oder mündet nördlich von Stettin in das lagunäre Ästuar Stettiner Haff. Die bei Swinemünde mündende Swine bildet den bedeutendsten Auslauf der Oder (siehe z. B. bei PUSCH et al. 2009).

Der Bereich Streckelsberg bei Zinnowitz ragt aus der ansonsten recht geradlinigen Küstenlinie Usedom nach Osten heraus, hier weicht die Uferlinie infolge Abrasion um bis zu 60 m (DENG et al. 2014, bzw. 90 m (ANONYMUS 2009) pro Jahrhundert landwärts zurück. Auch um die Mündung der Swine ragt die Küstenlinie Ost-Usedom und des westlichen Teils von Wollin seewärts vor als Folge des Materialaustrags durch das Ästuar (DENG et al. 2014). Durchschnittliche bodennahe Meeresströmungen zwischen Oktober 1996 und September 1997 verliefen in der westlichen Pommerschen Bucht als Teil eines Wirbels im Uhrzeigersinn mit Zentrum etwa 20 km nördlich der Swine-Mündung in westlicher bis nordwestlicher Richtung auf die seewärtige Küste von Usedom zu (HARFF et al. 2004) mit durchschnittlich etwa  $0,5 \text{ cm s}^{-1}$  in etwa 1–2 km Entfernung vom Ufer. Bei Ostwind tritt in der östlichen Pommerschen Bucht ein Transportband von der Swine-Mündung nach Osten auf (LASS et al. 2001). Der Netto-Sedimenttransport im Litoral Usedom erfolgt nach ANONYMUS 2009 aufgrund vorherrschender Westwinde überwiegend nach Südsüdost, mit Ausnahme des Bereiches unmittelbar nördlich des Streckelsberges, wo Nordnord-westrichtung vorherrscht (DENG et al. 2014).

Der Untergrund Usedom besteht oberflächennah aus Lockersedimenten des Spätpleistozäns und Holozäns (DUPHORN et al. 1995), (KRIENKE 2004). Die Steilküsten

Usedom, siehe DENG et al. (2014) und Abbildung 1, liegen 1. zwischen Zinnowitz und Zempin, 2. am Streckelsberg zwischen Koserow und Kölpinsee, 3. südöstlich Kölpinsee bei Stubbenfelde, 4. am Langen Berg nordwestlich Bansin, und 5. in Heringsdorf. Sie bieten Aufschlüsse glazialer Moränen-Ablagerungen und von glazifluviatilen Schmelzwassersanden des letzten, deutsches Gebiet erreichenden Gletschervorstoßes (LAGERLUND et al. 1995), (HOFFMANN & REICHERTER 2012). Mit abnehmendem Alter und abnehmender Horizontaldistanz zum Litoral sind holozäne Braun-, Gelb-, Grau- und Weißdünen vor allem in der Swine-Niederung verbreitet (OSADCZUK 2002). Rezente Ablagerungen der Boddengewässer werden vorwiegend von proximalen Organik-reichen Feinsanden und distalen ebenfalls Organik-reichen Peliten gebildet (LEIPE et al. 1998), (BORÓWKA et al. 2002). Oberflächennahe Ablagerungen der Pommerschen Bucht bestehen vor allem aus Fein- bis Mittelsanden (BOBERTZ et al. 2006).

Im Zweiten Weltkrieg wurde die Heeresversuchsanstalt auf der Halbinsel Peenemünde von Flugzeugen der Alliierten bombardiert (siehe u. a. ORDWAY et al. 2007). In der Nachkriegszeit erfolgte Munitionsverklappung im Seegebiet zwischen Usedom und Bornholm (BÖTTCHER et al. 2011). In Polen wurde zwischen der Oder-Mündung in das Stettiner Haff und dem Südtteil der Swine sowie in der südlichen Pommerschen Bucht ein Schifffahrtskanal auf 12,5 m Tiefe ausgebagert (BACHOR 2005), (DENG et al. 2014). Die in Nordnordwest–Südsüdost–Richtung verlaufende seewärtige Ausgleichsküste Usedom ist rund 42 km lang.

Bernstein wurde nach dem Zweiten Weltkrieg einige Jahre lang am Streckelsberg gewonnen (FRANKE 2019), heute gibt es nur vereinzelt Anreicherungen im Litoral. Offshore Sandgewinnung für Strandaufspülungen auf Usedom im Bereich Streckelsberg (ANONYMUS 2009) erfolgte 1996 auf der Höhe von Koserow und Zinnowitz (HARFF et al. 2004). Im Projekt „SEESand“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung wird das Potential für eine Offshore-Gewinnung von Schwermineralen in der Ostsee untersucht (ANONYMUS 2018). Die Anreicherung von Schwermineralen

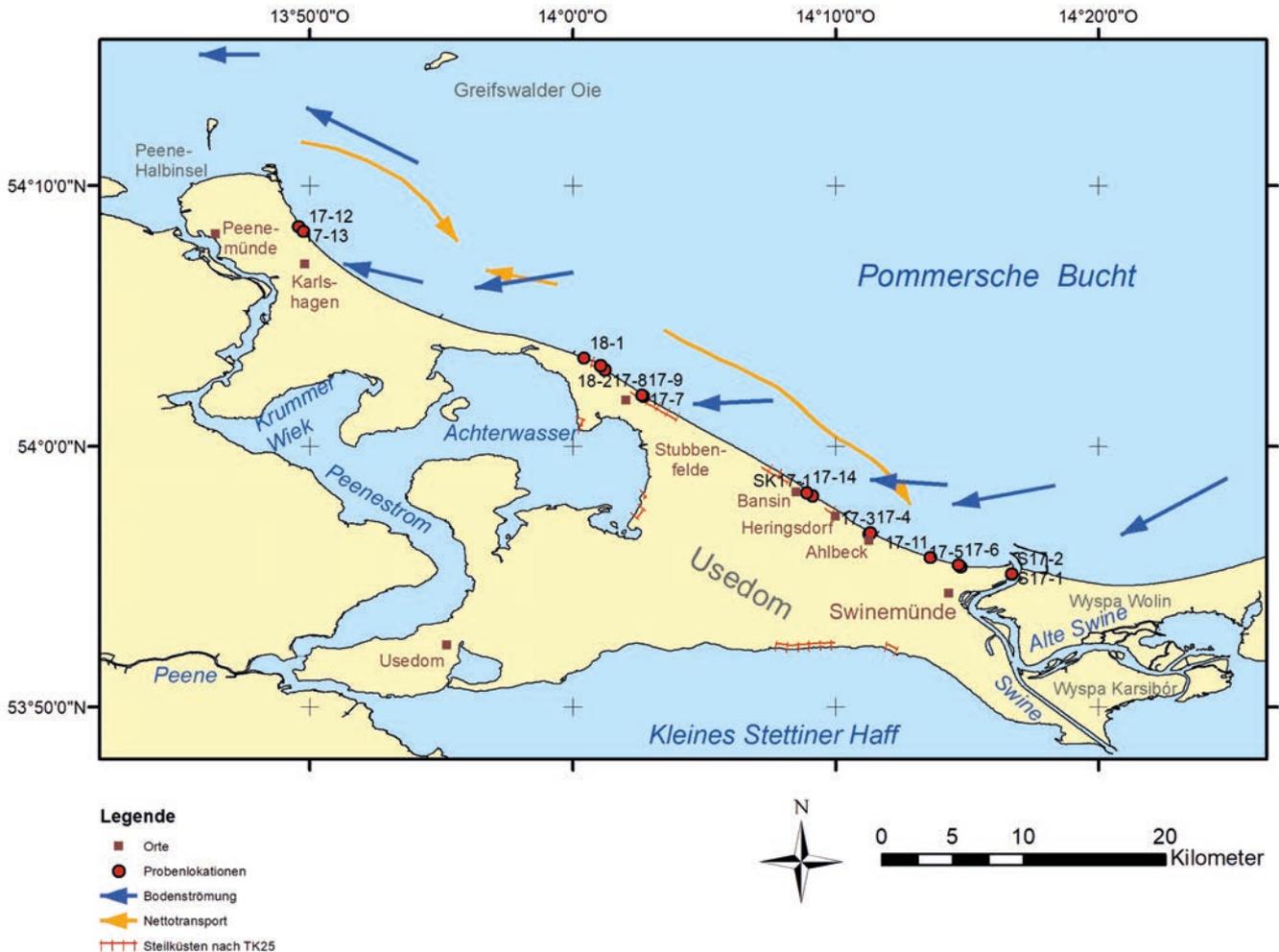


Abb. 1: Probenlokalitionen auf der Insel Usedom. Küstenlinie erstellt nach Luftbildern von Google Earth aus den Jahren 2016 bis 2018. Ortsnamen und Steilküsten ergänzt nach GARMIN 2008 und Luftbildern. Netto-Sedimenttransport nach ANONYMUS 2009: S. 17, mittlere bodennahe Strömungen nach HARFF et al. 2004. Probenbezeichnungen sind abgekürzt gemäß folgendem Schema: FM\_Ostsee2017-1 als 17-1, FM\_Ostsee2018-1 als 18-1, FM\_Sackkanal2017-1 als SK17-1, FM\_Swine2017-1 als S17-1. Die Symbole der Proben 17-3, Weißdüne, 17-8, Schwermineralseife Strandwall und 17-7, Grobsand Strandwall sind ganz oder teilweise durch eine nahegelegene Probe überdeckt.

Fig. 1: Sampling locations on the Island of Usedom. Coast line created after aerial images of Google Earth dating from 2016 to 2018. Location names and escarpments after GARMIN 2008 and aerial images. Net sediment transport after ANONYMUS 2009: P. 17, mean near bottom currents after HARFF et al. 2004. Sample names abbreviated after following scheme: FM\_Ostsee2017-1 as 17-1, FM\_Ostsee2018-1 as 18-1, FM\_Sackkanal2017-1 as SK17-1, FM\_Swine2017-1 as S17-1. Symbols of samples 17-3, white dune, 17-8, placer beach ridge, and 17-7, coarse sand beach ridge, are partly or entirely covered by nearby samples.

im Vorstrand und im Schwall- und Sogbereich des Strandwalls sowie nach Stürmen durch Abrasion mariner Sande und Aufwehung in die Vordünen ist von Usedom mehrfach beschrieben worden (WASMUND 1938), (PFEIFFER 1972), (BECKER & DIETZE 1986), (GRANITZKI & KATZUNG 2004), jedoch nach Kenntnis der Autoren bisher noch nicht im Hinblick auf die magnetische Suszeptibilität der Sedimente.

In dieser Studie werden vier Fragestellungen bzw. Ziele verfolgt: 1. Lassen sich mit sedimentpetrographischen und umweltmagnetischen Methoden anthropogene Me-

tallfragmente im Litoral Usedom nachweisen?; 2. Da Studien von z. B. (SHANKAR et al. 1996) grundsätzlich die Effizienz der magnetischen Suszeptibilität bei der Suche nach Schwermineral-Anreicherungen im Rahmen der Rohstoff-Suche gezeigt haben, kann für Proben von Usedom getestet werden, für welche Schwerminerale diese Methode einen Anzeiger auf erhöhte Konzentrationen darstellt; 3. Hinweise auf die Sedimentdynamik als Beitrag für die Planung des Küstenschutzes zu gewinnen; 4. für Rekonstruktionen des Paläomilieus holozäner Küstenablagerungen aus Bohrgut (VIEHBERG et al. 2008),

Kriterien zu entwickeln, mit denen sandige fossilfreie oder -arme Ablagerungen in einen Bezug zur Küstenlinie gestellt werden können.

## 2 Material und Methoden

Auf Usedom wurden an 20 Lokationen folgende Faziesbereiche beprobt: 1. Schwallbereich am Strandwall, Übergangsbereich nasser zu trockenem Strand, 2. Vordüne bzw. vorderste Weiß-Düne, 3. Gelbdüne am Streckelsberg, 4. Bachauslauf des Sackkanals südöstlich Bansin, 5. Westufer des Swine-Ästuars bei Swinemünde. Die Proben mit einem mittlerem Trockengewicht von 200 g wurden im März 2017 und im September 2018 entnommen, die Jahreszahl findet sich abgekürzt in den Probenbezeichnungen in Abbildung 1 wieder. Hierzu wurde eine 50 ml fassende Kunststoffschaufel verwendet, gelagert wurden die Proben in 1 l Allzweck- und Gefrierbeuteln. Die Teilproben der Gesamtfraktion und der nichtmagnetischen bzw. magnetischen Fraktion wurden in 12,5 ml Polystyrol-Dosen gelagert. Die Proben wurden im Trockenschrank bei Umluft über mindestens 3 Tage getrocknet. Das Gewicht der Gesamt- bzw. Teilproben wurde mit SARTORIUS Waagen TE3102S bzw. BP210S, Ablesegenauigkeit 0,01 bzw. 0,0001 g, bestimmt.

Die Auftrennung der Gesamtprobe in eine nichtmagnetische und eine ferrimagnetische Fraktion, letztere nachfolgend als magnetische Fraktion bezeichnet, erfolgte direkt an der trockenen Probe in einer Schale aus glasiertem Porzellan mit einer Teflonhülle um einen Fe-Stab an einem Sr-Nd-Permanentmagneten, konstruiert nach (DOBENECK et al. 1987). Zusätzlich erfolgte die Gewinnung an einigen Proben mit geringem Extrakt unter Wasserbedeckung.

Die Binokular-Ansprache der nichtmagnetischen Fraktion wurde bei 10,5- und 45-facher Vergrößerung im kombinierten Auf- und Durchlicht sowie Durchlicht mit einem Leica Zoom 6000 durchgeführt. Fotos wurden mit einer Sony DSC-W650 Digitalkamera aufgenommen, eingestellt auf 4608 x 3456 Bildpunkte, davon entfielen etwa 2900 x 2900 Bildpunkte auf den sichtbaren Ausschnitt. An diesen erfolgte eine Einstufung in eine der folgenden Kategorien: 1. Quarz matt, 2. Quarz glänzend, 3. Quarz mit oranger bis gelblicher Kutane, 4. Lithoklasten, 5. Granat, 6. grüne Hornblende, 7. Epidot, 8. Rutil, 9. orange + beige Körner, 10. Feldspat, 11. Anatas, 12. Schalen-Fragmente, 13. Mikroplastik-Fragmente. Kornparameter wurden an mindestens 300 Körnern je Probe bestimmt, hierbei wurden der maximale und der minimale Korndurchmesser ausgemessen, an Einzelkörnern die Rundung nach Schätzbildern nach PETTJOHN et al. (1973) (in: STOW 2008) bestimmt, die Sphärizität aus dem Verhältnis maximaler zu minimaler Korndurchmesser berechnet, und die Sortierung als Standardabweichung maximaler Korndurchmesser in phi-Einheiten ermittelt. Die Schiefe wurde nach WARREN (1974) (in: TUCKER 1985) aus Kornsummenkurven bestimmt.

Für die ergänzende Kornansprache der nichtmagnetischen Fraktion und für Korngrößenbestimmungen der magnetischen Fraktion wurde ein Keyence Digitalmikroskop VHX-6000 mit Objektiven 0–200x und 200–1000x verwendet bei Beleuchtung mit einer Kombination Ringlicht in einem 45 ° Sektor und Durchlicht. In der magnetischen Fraktion wurden Körner in die Kategorien Magnetite oder Lithoklasten eingestuft, zu letzteren wurden auch vereinzelte schwarze Hornblende gezählt, die mit weiteren weißen oder braunen Mineralen Aggregate bildet.

An zwei Proben wurde die Fraktion der Minerale leichter und schwerer als 2.80 g/ccm durch Schwerentrennung mittels Natrium-Polywolframat nach BOENIGK 1983 durchgeführt, Dünnschliffpräparate wurden mit Araldit 2020, HUNTSMAN, mit Brechungsindex 1.553 eingebettet, als Schleifmittel wurde Aluminiumoxid 9 bzw. 3 µm verwendet. Schwer- und Leichtmineralfraktion wurden unter einem ZEISS Axioskop bei 50x, 100x und 200x Vergrößerung durchgemustert.

Die Bestimmung der Masse-spezifischen magnetischen Suszeptibilität erfolgte nach DEARING 1994 mit einem Bartington MS2 Susceptibility Meter mit Sensor B (BARTINGTON-INSTRUMENTS 2018) nach Mehrfach-Messungs-Kalibration mit einer Standardprobe 3142 10<sup>-6</sup> [SI] des Herstellers, dabei betrug der Korrekturfaktor zwischen 0,9995 und 1,0038 an 14 Messtagen. Es wurden mindestens Doppelmessungen bei 460 Hz und für die Frequenzabhängigkeit mindestens vier Doppelmessungen bei 460 und 4600 Hz durchgeführt. Die relative Standardabweichung von 6 je 8 durchgeführten Doppelmessungen bei 460 und 4600 Hz beträgt gemittelt 2,0 bzw. 1,4 % des Mittelwertes der Proben. Thermomagnetische Messungen wurden in Luft mit einem Bartington Temperature-Susceptibility-System im Ramp-Modus mit 5 °C min<sup>-1</sup> im Temperaturbereich 20 bis 800 °C und 800 bis 24 °C durchgeführt und daraus die Curie-Temperatur nach der Wendepunkt-Methode (FABIAN et al. 2013) bestimmt.

Für die Extraktion der Oxalat-löslichen Fraktion nach SCHWERTMANN (1959) wurde ohne weitere Aufbereitung 1 g getrocknetes Sediment < 2 mm in einem 50 ml Greiner Röhrchen abgewogen, mit 0,1134 Mol Di-Ammoniumoxalat-Monohydrat, MERCK 101192, p. A., und 0,0866 m Oxalsäure Dihydrat, MERCK 100495, p. A., versetzt und für 2 Stunden im Dunkeln mit 15 U min<sup>-1</sup> überkopf geschüttelt, danach für 15 min bei 2 500 U min<sup>-1</sup> zentrifugiert. Überstehende Lösung wurde durch einen 0,45 µm Cellulose-Acetat-Filter in ein 15 ml Greiner-Röhrchen infiltriert. Elementgehalte für Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Si, Ti wurden mit ICP-OES, Optische Emissionsspektrometrie mit induktiv-gekoppeltem Plasma, 725ES, AGILENT Technologies, jeweils dreifach bestimmt. Zur Kalibration wurde MERCK Multielement Standard verwendet. Für Fein- bis Mittelsande wurden 4 Teilproben gemessen, für die beiden Grobsandproben 6 Teilproben. Bei K-Gehalten liegen Teilproben in 10 Proben unter der Nachweisgrenze, NWG, von 15 µg g<sup>-1</sup>, bei P-Gehalten 6 Proben unter NWG 7,5 µg g<sup>-1</sup>

und bei Na-Gehalten 5 Proben unter NWG  $5 \mu\text{g g}^{-1}$ . Die mittlere Standardabweichung aus vier bis sechs Messungen von Teilproben für das Element mit den niedrigsten mittleren Elementgehalten, K mit  $26 \mu\text{g g}^{-1}$ , beträgt für 9 Proben  $2,8 \mu\text{g g}^{-1}$ , für das Element mit den höchsten mittleren Elementgehalten, Na mit  $473 \mu\text{g g}^{-1}$ , beträgt sie für 9 Proben  $86 \mu\text{g g}^{-1}$ , Teilproben unterhalb der NWG wurden hierbei nicht berücksichtigt.

Farben wurden mit der Farbtafel nach Munsell (ANONYMOUS 2000) an der Gesamtfraction getrockneter Proben bestimmt.

Für die Faktoren- und Clusteranalyse wurde das Program GCDkit, Geochemical Data Toolkit for Windows, Version 4.1 (JANOUSEK et al. 2006) eingesetzt. Zuvor wurden, falls erforderlich, Elementgehalte unterhalb der Nachweisgrenze durch Zufallszahlen im Bereich zwischen 0 und NWG ersetzt und mit der Berechnung von  $[\text{Messwert} - \text{Mittelwert}] / \text{Standardabweichung}$  erfolgte die Standardisierung der Messwerte.

Ausgewählte Daten können unter <https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.907802> heruntergeladen werden. Eine Auflistung geowissenschaftlicher Literatur sowie Geländefotos der sedimentären Milieus und Informationen zu Korngrößenverteilung, Mineralen sowie Curie-Temperaturen findet sich in PIRRUNG et al. (2019).

### 3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse in der Reihenfolge der oben genannten Ziele bzw. Fragen vorgestellt. In Tabelle 1 sind diese Parameter zusammenfassend dargestellt.

#### 3.1 Nachweis anthropogener Metallfragmente

An magnetischen Extrakten sind mehrere Stahlfragmente in einer Düne an der Swine-Mündung und ein Blechpartikel zwischen Ahlbeck und Heringsdorf sowie eine Schlacke bei Stubbenfelde als anthropogene Partikel nachweisbar. Magnetische Sphärule, die vermutlich aus der Verbrennung fossiler Kraftstoffe kommen (JORDANOVA et al. 2006), konnten in zwei Proben von Ahlbeck je einmal und viermal in einer Düne an der Swine-Mündung beobachtet werden. Nur letztere Probe zeigt eine deutliche Dominanz anthropogener Partikel gegenüber geogenen Magnetiten. Da die genannte Probe nur eine Suszeptibilität von  $65 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  der Gesamtfraction aufweist, kann allein aus der Suszeptibilität von Proben im Litoral Usedom nicht auf das Vorkommen oder Fehlen anthropogener Metallreste geschlossen werden.

Die Curie-Temperaturen liegen für fast alle Proben im Bereich von  $552$  bis  $564 \text{ }^\circ\text{C}$ , typisch für Titanomagnetite mit nur geringen Ti-Gehalten (EVANS & HELLER 2003). Nur in der an anthropogenen Metallresten angereicherten Probe einer Düne in der Swine-Mündung liegt die Curie-Temperatur

Fazies	N	$MS_g$	$MS_n$	$MS_m$	TC	MF	$QZ_{NMF}$	$Md_{qzNMF}$	$Md_{mNMF}$	$Fe_g$
Strandwall	8	469	40	178310	568	0,15	79	427	450	218
±	8	1199	44	120615	8	0,38	13	62	380	60
Strandwall*	6	596	30	214913	564	0,19	85	292	267	-
±	6	1391	46	118021	1	0,44	4	87	172	-
Weißdüne	6	115	20	255817	564	0,03	90	264	170	146
±	6	91	15	104385	2	0,04	2	368	40	45
Gelbdüne	1	71	14	176598	562	0,01	85	186	105	372
Bachauslauf	1	446	94	304891	562	0,06	89	372	140	199
Swine	1	7	5	194886	-	0,02	92	221	190	120

Tab. 1: Einzel- bzw. Mittelwerte ausgewählter Parameter für verschiedene Faziesbereiche. N = Probenanzahl; MS = massespezifische magnetische Suszeptibilität [ $10^{-9} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ ], g = Gesamtfraction, n = nichtmagnetische Fraktion, m = ferrimagnetische Fraktion, TC = Curie-Temperatur [ $^\circ\text{C}$ ], MF = ferrimagnetische Fraktion [Gew.-% der Gesamtprobe], NMF = nichtmagnetische Fraktion, QZ = Quarzanteil in Korn-%, Md = Median [ $\mu\text{m}$ ], Fe = Eisengehalt in oxalatlöslicher Fraktion [ $\mu\text{g g}^{-1}$ ], qz = Quarz, mt = Titanomagnetit, ± = Standardabweichung, \* nur Mittelsande.

Tab. 1: Single and mean values of selected parameters for several facies zones. N = number of samples; MS = mass-specific magnetic susceptibility [ $10^{-9} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ ], g = total fraction, n = nonmagnetic fraction, m = ferrimagnetic fraction, TC = Curie temperature [ $^\circ\text{C}$ ], MF = ferrimagnetic fraction [wt.-% of total fraction], NMF = nonmagnetic fraction, QZ = quartz content in grain-%, Md = median [ $\mu\text{m}$ ], Fe = iron content of oxalate-solvable fraction [ $\mu\text{g g}^{-1}$ ], qz = Quartz, mt = titanomagnetite, ± = standard deviation, \* only middle sands.

bei 622 °C, was nach THOMPSON & OLDFIELD (1986) für Hämatit, offensichtlich aus der Oxidation von Stahl resultierend, spricht.

### 3.2 Magnetische Suszeptibilität und Schwerminerale

Die Masse-spezifische magnetische Suszeptibilität der Gesamtfraktion von Proben aus dem Litoral Usedom liegt für Weißdünen niedriger als für den Strandwall, noch deutlich niedriger liegt die Probe aus dem Swine-Ästuar. Für 20 Strandwall-Proben von der südlichen Ostsee, die im Projekt FluvMag entnommen wurden in den Bereichen Schleimündung, Eckernförder Bucht, Timmendorfer Strand, Boltenhagen, Wohlenberger Wiek, Insel Poel, Darß und Zingst, liegt der Mittelwert mit  $101 \pm 162 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  deutlich niedriger als für den Strandwall-Bereich Usedom. Fünf Proben von Weißdünen aus den letztgenannten Bereichen liegen mit  $62 \pm 41 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  ebenfalls niedriger. Für zwei Proben des von der Peene durchströmten Kummerower Sees ergaben sich mit  $455 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  ähnlich hohe Werte wie für den Strandwall Usedom. Im Litoral Usedom liegt die Frequenzabhängigkeit der magnetischen Suszeptibilität unter 1 %. Die kleinsten unter dem Mikroskop in einer hier untersuchten Probe beobachteten ferrimagnetischen Partikel haben einen Durchmesser von 10 µm.

Der Gewichtsanteil der extrahierten magnetischen Fraktion an der Gesamtprobe korreliert positiv mit der Masse-spezifischen magnetischen Suszeptibilität der Gesamtprobe,  $R^2 = 0,99$ . Der Granat-Gehalt in Korn-% in der nichtmagnetischen Fraktion korreliert positiv mit der Masse-spezifischen magnetischen Suszeptibilität der Gesamtfraktion,  $R^2 = 0,766$ ; andere Schwerminerale haben geringere positive Korrelationen.

In der magnetischen Fraktion treten überwiegend Titanomagnetite als kantengerundete Oktaeder auf, seltener tritt Hornblende auf und noch seltener sind kugelförmige Partikel zu beobachten (Abb. 2). Der höchste Anteil der magnetischen Fraktion an der Gesamtprobe von etwa 1 Gew.-% tritt in einer Schwermineralseife des Strandwalls auf. Diese Probe weist mit 6 Korn-% auch den höchsten Anteil an Schwermineralen in der nichtmagnetischen Fraktion und mit  $3434 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  auch die höchste magnetische Suszeptibilität der Gesamtfraktion auf.

### 3.3 Sedimentdynamik

In der nichtmagnetischen Fraktion des Litorals von Usedom, (Abb. 3) überwiegen Quarzkörner: glänzend, matt oder mit Kutane. Sie machen zwischen 51 und 92 Korn-% der nichtmagnetischen Fraktion aus; zwischen 2 und 39 Korn-% stellen Lithoklasten dar, bei denen granitische Gesteine am häufigsten auftreten; beide Komponenten zusammen ergeben 87 bis 98 Korn-%. Die Gehalte an Quarzkörnern mit einer Kutane, von gelblicher bis oranger

Färbung, in der nichtmagnetischen Fraktion liegen in Weißdünen mit im Mittel 50 Korn-% nahezu gleichhoch wie in Sanden des Strandwalls, nur die Gelbdüne hat einen Wert von 75 Korn-%. Bei den Kutanen um Quarzkörner dürfte es sich aufgrund der vorherrschend gelben Färbung um Goethit, der nicht in Oxalat-Lösung löslich ist, handeln (siehe z. B. KOENSLER 1989), während die untergeordnet orange Färbung auf Ferrihydrit bzw. Limonit (BLUME et al. 2010) zurückgehen dürfte, beide Minerale sind löslich in Oxalat-Lösung. In der Probe der Gelbdüne blieb der Anteil von Quarzkörnern mit Kutanen mit 75 bzw. 79 Korn-% vor bzw. nach der Anwendung von Oxalsäure etwa gleich hoch, was auf die Dominanz von Goethit hinweist. Bei einigen Körnern, sowohl aus Dünen Sanden als auch Sanden vom Strandwall, zeigt eine unterschiedlich intensive Färbung die Bildung in einem nur teilweise wassergesättigten, vadosen Porenraum mit präferentiellen Fließwegen an. Eine Strandwall-Probe vom September 2018 liegt mit nur 32 Korn-% Quarzkörnern mit Kutane im Bereich der niedrigsten Werte der Proben von 2017.

In der nichtmagnetischen Fraktion beträgt der Anteil an Lithoklasten in Weißdünen im Mittel etwa 5 und in Mittelsanden des Strandwalls etwa 7 Korn-%. Die beiden Proben mit den höchsten Gehalten an Lithoklasten sind die Grobsande des Strandwalls mit 24 bzw. 39 Korn-%, die erstgenannte der beiden Proben liegt zwischen Ahlbeck und Swinemünde etwa 5 km vom nächsten Steilufer bei Bansin entfernt.

Zwei in einer Horizontalabstand von 870 m im Bereich Streckelsberg von der Vordüne und vom nassen Strand entnommene Proben wurden für die Schwermineralanalyse aufgrund der Exposition dieses Bereiches ausgewählt. Quarz dominiert mit über 80 Korn-% die Leichtmineral-Fraktion und die Schwermineral-Fraktion wird in der Vordüne von brauner und grüner Hornblende mit zusammen 15 Korn-% bzw. am nassen Strand von Granat mit 19 Korn-% neben Lithoklasten mit 10 bzw. 39 Korn-% und opaken Körnern mit 30 bzw. 6 Korn-% geprägt. Detaillierte Schwermineraluntersuchungen quartärer Sedimente in Nordpolen ergaben ähnliche Zusammensetzungen wie für die Proben von Usedom (VAN LOON & PISARSKA-JAMRO 2017). Der Median der Schwermineralfraktion liegt im nassen Strand etwas über, in der Vorderdüne deutlich unter dem Median der Leichtmineralfraktion; der Schwermineralgehalt an der Gesamtprobe beim Strandwall ist mit 1 Gew.-% höher als in der Vordüne mit 0,3 Gew.-%.

Mikroplastik-Partikel mit 190 bzw. 230 µm Länge wurden nur in einer Probe am Streckelsberg beobachtet. Umgerechnet auf ein kg Trockensediment wären das 12 Partikel.

Die Korngröße der untersuchten Proben liegt im Bereich Fein- bis Mittelsand, nur bei zwei Proben vom Strandwall handelt es sich um Grobsande; die Werte für den Strandwall in Tabelle 1 sind einmal mit und einmal ohne die Lithoklasten-reicheren Grobsande angegeben. Von allen bestimmten

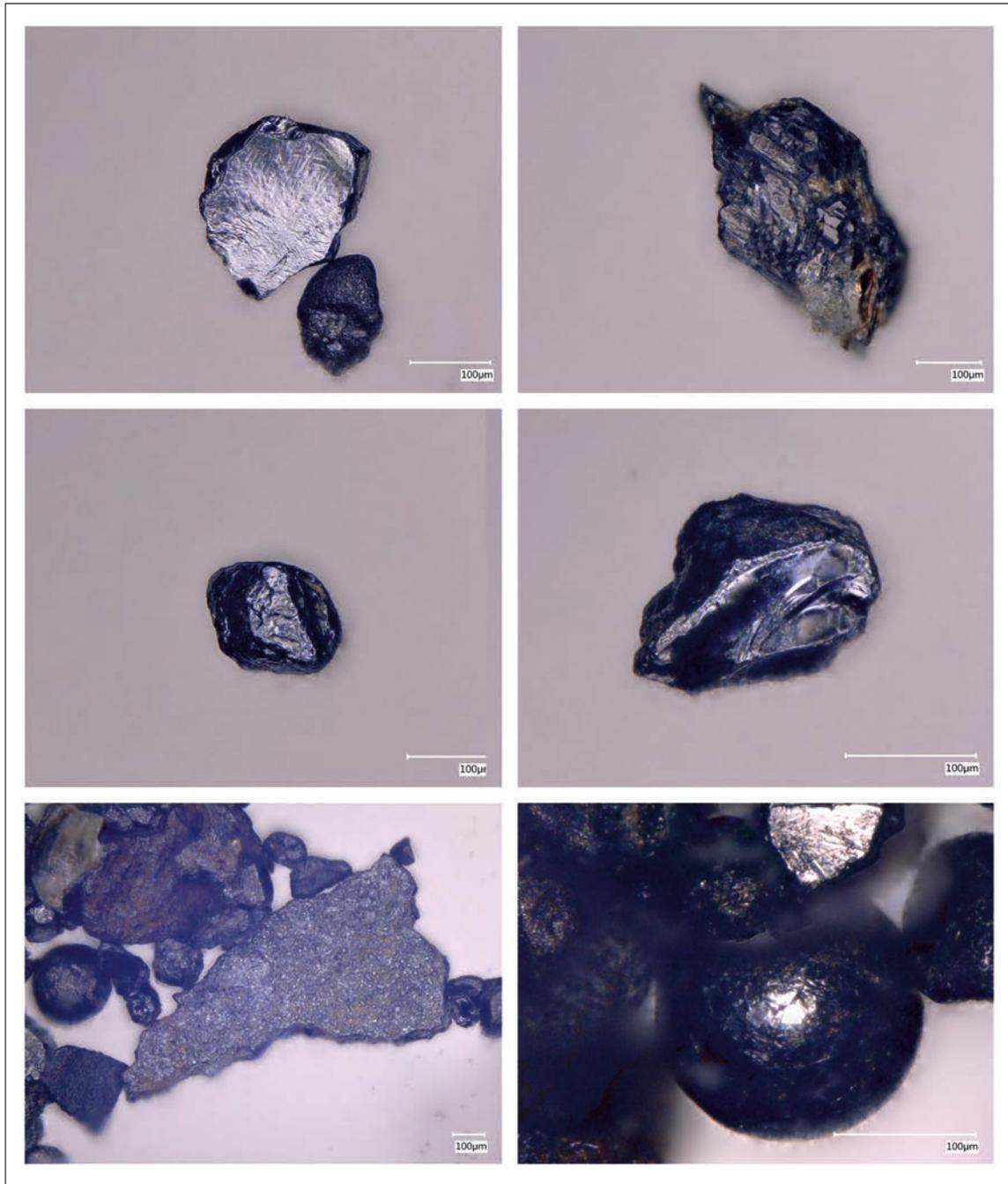


Abb. 2: Körner der ferrimagnetischen Fraktion unter dem Digitalmikroskop; Maßstabsbalken 100 µm. Oben links FM\_Ostsee2017-7, Bruchstück eines Titanomagnetits mit deutlicher Rundung des ursprünglichen Kristalls; oben rechts FM\_Sackkanal2017-1, Hornblendekristall, verwachsen mit braunem Mineral, gezählt als Lithoklast; Mitte links FM\_Sackkanal2017-1, Titanomagnetit-Korn mit Resten der ursprünglichen Oktaeder-Flächen; Mitte rechts FM\_Ostsee2017-7, Titanomagnetit-Korn mit muscheligen Bruch; unten links FM\_Swine2017-2, Stahl-Bruchstück und schwarze Sphärule mit rauer Oberfläche und 270 µm Durchmesser, möglicherweise ein sehr gut gerundetes Titanomagnetit-Korn; unten rechts FM\_Swine2017-2, schwarze Sphärule von 185 µm Durchmesser mit glänzender glatter Oberfläche.

Fig. 2: Grains of the ferrimagnetic fraction under the digital microscope; scale bar 100 µm. Upper left FM\_Ostsee2017-7, fragment of a titanomagnetite with clear rounding of the original crystal; upper right FM\_Sackkanal2017-1, hornblende crystal aggregated with a brown mineral, counted as lithoclast; middle left FM\_Sackkanal2017-1, titanomagnetite grain with remains of original octahedral faces; middle right FM\_Ostsee2017-7, titanomagnetite grain with conchoidal fracture; lower left FM\_Swine2017-2, steel fragment and black spherule with uneven surface, 270 µm diameter, possibly a well-rounded titanomagnetite grain; lower right FM\_Swine2017-2, black spherule, 185 µm diameter, with brilliant surface.

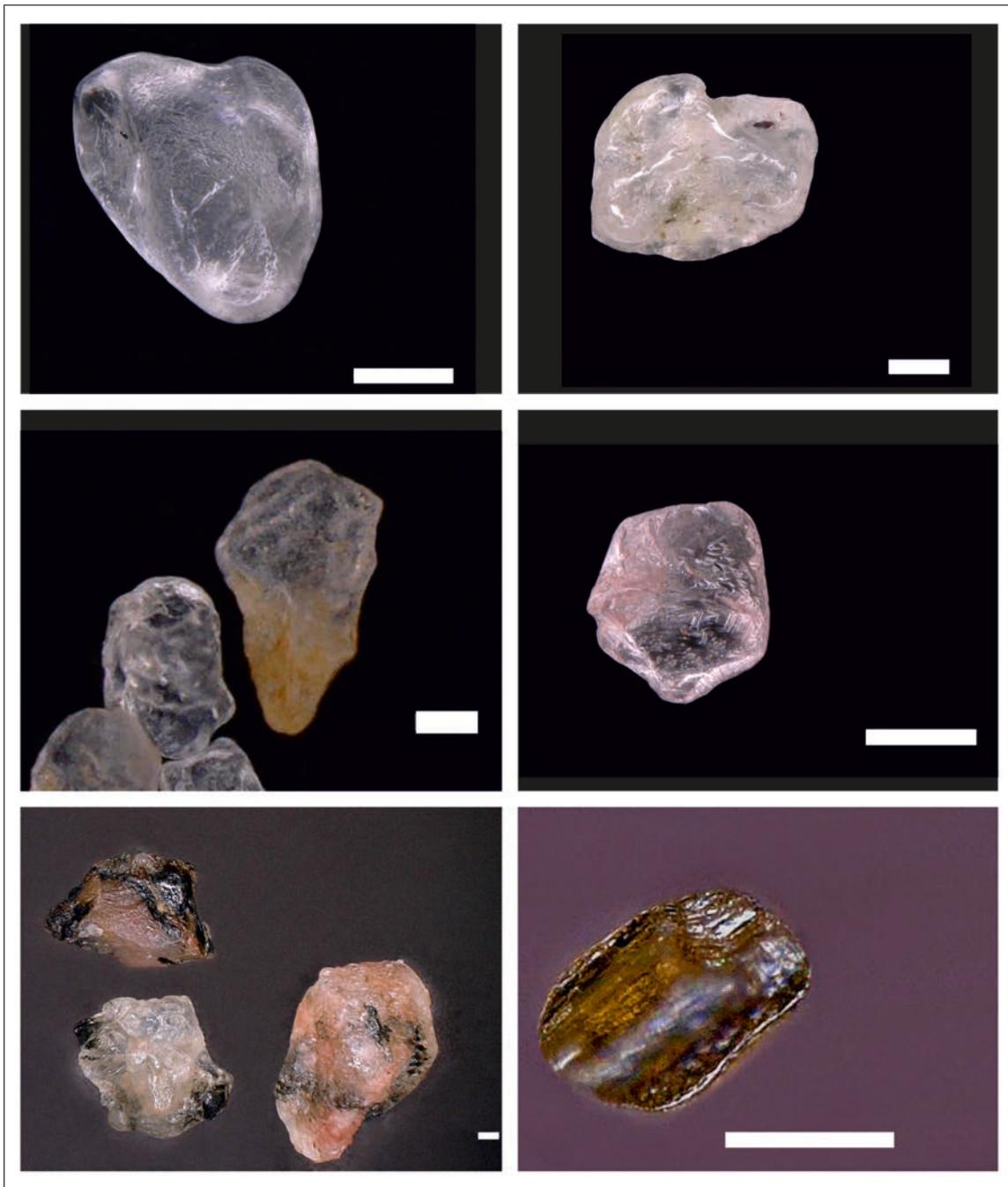


Abb. 3: Körner der nichtmagnetischen und der magnetischen Fraktion unter dem Digitalmikroskop, Maßstabsbalken 100  $\mu\text{m}$ . Oben links FM\_Swine2017-2, mattiertes Quarzkorn, wie es typischerweise in äolischen Sanden auftritt; oben rechts FM\_Sackkanal2017-1, Quarzkorn mit glänzender Oberfläche, wie es für unter Wasserbedeckung transportierte Körner zu erwarten ist; Mitte links FM\_Sackkanal2017-1, vermutlich Goethit-Kutane, die ein Quarzkorn nur teilweise umhüllt; Mitte rechts Schwermineralseife der Probe FM\_Ostsee2017-7, Granatkorn, transparent lachsrosa, wie dies für Spessartin typisch ist (BOENIGK 1983): S. 89-90; unten links FM\_Ostsee2017-4, granitische bis syenitische Lithoklasten mit mafischen Mineralen, vermutlich Hornblende, und rosafarbigem Kalifeldspäten; unten rechts FM\_Ostsee2017-7, vermutlich ein Rutil-Korn.

Fig. 3: Grains of non-magnetic and magnetic fractions under the digital microscope, scale bar 100  $\mu\text{m}$ . Upper left FM\_Swine2017-2, matt quartz grain typical for aeolian sands; upper right FM\_Sackkanal2017-1, quartz grain with brilliant surface typical for grains transported under water column; middle left FM\_Sackkanal2017-1, supposed goethite cutane covering a quartz grain only partly; middle right placer of sample FM\_Ostsee2017-7, garnet, transparent salmon pink typical for spessartine (BOENIGK 1983): P. 89-90; lower left FM\_Ostsee2017-4, granitic to syenitic lithoclasts with mafic minerals, probably hornblende and pink potassiumfeldspar; lower right FM\_Ostsee2017-7, probably a rutile grain.

Kornparametern zeigen die Mediane der Titanomagnetitkörner, d. h. der magnetischen Fraktion ohne Lithoklasten, den größten Variationskoeffizient, für die nichtmagnetische Fraktion gilt dies für die Mediane der Lithoklasten. Für Mittelsand liegen Mediane der Quarzkörner in Proben des Strandwalls nur geringfügig über denen der Weißdünen. Die Proben vom Strandwall sind deutlich grobkörniger als die in wenigen km Entfernung offshore kartierten Sande der westlichen Pommerschen Bucht mit einem Median von etwa 188  $\mu\text{m}$ , abgeschätzt aus einer Karte von BOBERTZ et al. (2006). In der nichtmagnetischen Fraktion liegen die Werte weiterer Kornparameter für alle Faziesbereiche nahe beieinander: Sortierung als Standardabweichung der Körner in phi-Einheiten 0,40 für Dünen und 0,42 für Strandwall, Sphärizität 0,76 für Dünen und für Strandwall, Rundung 3,34 für beide Bereiche, Schiefe +0,24 für Dünen und +0,11 für den Strandwall, nur eine Probe etwa 2 km westlich der Swine-Mündung weist eine für Strandsande typische negative Schiefe (TUCKER 1985) auf. Die für Dünen- und für Strandwall erwartende positive Schiefe findet sich also auch in den meisten Proben vom Strandwall wieder. Eine Probe aus dem Litoral des Swine-Ästuars und eine Probe aus der Mündung eines Baches zwischen Heringsdorf und Ahlbeck liegen (bezogen auf Kornparameter) für erstere im Bereich der Dünen- und für letztere im Bereich der Strandwall-Proben.

Um für die Interpretation der Ablagerungsdynamik Körner gleicher Dichte zu betrachten, sind in Tabelle 1 Mediane der Quarzkörner und der Titanomagnetitkörner angegeben. Auffällig ist, dass nur für die Strandwall-Proben die mittleren Mediane der Titanomagnetite denen der Quarzkörner ähnlich sind, in drei Proben liegt der Median der Titanomagnetite sogar über dem der Quarze.

Die Mediane von Quarzkörnern, matt und glänzend, korrelieren positiv mit  $R^2 = 0,828$  mit denen der Lithoklasten, die Mediane von Titanomagnetitkörnern und Lithoklasten korrelieren mit  $R^2 = 0,875$ . Damit ist eine Herkunft sowohl der Quarz- als auch der Titanomagnetitkörner aus Lithoklasten-reichen Geschiebemergeln, die bei Stürmen in Steiluferbereichen Usedom abradiert wurden, sehr wahrscheinlich.

Für Proben aus Weißdünen liegen die Gehalte an von Oxalat-löslichen schlecht kristallinen pedogenen Fe-Verbindungen, wie dem leicht löslichen Ferrihydrit (BLUME et al. 2010), etwas niedriger als für Proben des Strandwalls, während für eine Gelbdüne ein deutlich höherer Oxalat-löslicher Fe-Gehalt vorliegt, siehe Tabelle 1. In Sanden der sechs Weißdünen und einer Gelbdüne nimmt der Oxalat-lösliche Fe-Gehalt von 110 ppm an der Oberfläche auf 360 ppm in 2,3 m Tiefe zu,  $R^2 = 0,784$ . Erwartungsgemäß liegen die Alkali-Gehalte in Proben der Weißdünen deutlich unter denen vom Strandwall, gleiches gilt für Mg-Gehalte, jedoch nicht für Ca-Gehalte, es kommt also offensichtlich kaum zur Karbonat-Lösung in den Weißdünen aufgrund ihres geringen Alters.

In Box-Whisker-Plots treten für einzelne Proben in bis zu 13 von 58 Parametern Abweichungen von mehr als dem 1,5-fachen Interquartilsabstand auf, die als Ausreißer angesehen werden könnten (BACKHAUS et al. 1996), hier jedoch für die statistische Betrachtung nicht entfernt wurden, um den Informationsgehalt nicht zu verringern. Die erhobenen Parameter sind, mit und ohne Ausreißer, bis auf wenige, wie z. B. die geschätzte Rundung der magnetischen Fraktion und die Oxalat-löslichen Al-Gehalte, nicht normal verteilt, meist ist eine rechtsschiefe Verteilung mit Häufigkeitsmaximum im niedrigen Wertebereich ausgeprägt.

### 3.4 Multivariate Statistik und Zuordnung zu Ablagerungsbereichen

Für die multivariate Statistik wurden 5 topographische Parameter, die die relative Lage zum Ufer bzw. zum Küstenabschnitt beschreiben, nicht weiter betrachtet, da sie bei Paläomilieuanalysen ja in der Regel unbekannt sind. Von den übrigen 53 erfassten Parametern lassen sich in die Rubriken magnetische Parameter 7, Komponenten der nichtmagnetischen Fraktion 16, Korngröße und -form jeweils der nichtmagnetischen Fraktion 10 und der magnetischen Fraktion 8, Farbe 2, Elementgehalte 10 einordnen. Für jede Rubrik wurde mit einer Hauptkomponentenanalyse die Kovarianz bestimmt und es wurden aus Parametern mit rechtsschiefer Verteilung jeweils die beiden bzw. bei den Farben einer mit den höchsten Faktorladungen bestimmt. Aus diesen wurden in einer zweiten Hauptkomponentenanalyse insgesamt fünf Parameter mit wiederum höchsten Faktorladungen ausgewählt: 1. optisch bestimmter Schwermineralanteil und 2. Mittelwert der nichtmagnetischen Fraktion, 3. Munsell Intensität, 4. Mg- und 5. Si-Gehalt der oxalatlöslichen Fraktion. Mit diesen Variablen wurde für die 17 Proben eine hierarchische Clusteranalyse nach der WARD-Methode durchgeführt. Si-Gehalt und Intensität haben negative Faktorladungen  $< -0,6$  bei Komponente 1 und bei Komponente 2 hat der Mittelwert der nichtmagnetischen Fraktion mit  $+0,7$  die höchste Faktorladung. Beide Komponenten erklären rund 64 % der kumulativen Varianz der fünf Parameter. Vergleicht man die Ergebnisse der Clusteranalyse mit dem bekannten Ablagerungsmilieu der Proben, so weist die Probe der Gelbdüne die größte Distanz zu weiteren Proben auf, gefolgt von der Schwermineralseife. Eine Probe des Swine-Ästuars und weitere vier Proben vom nassen Strand stehen neben zwei Grobsandproben vom nassen Strand fünf äolischen Proben gegenüber, dazwischen liegt noch eine gemischte Gruppe aus je einer fluviatilen, äolischen und litoralen Probe. Damit liefern die hier genannten fünf Parameter die Möglichkeit, das Ablagerungsmilieu von etwa 80 % der in dieser Studie auf Usedom entnommenen litoralen Proben zu bestimmen.

Um eine effektivere Zuordnung der Proben zu den bekannten Ablagerungsfazies zu erzielen, wurden die vorgenannten Parameter ersetzt durch leichter zu bestimmende Parameter: 1. Schwermineralanteil der nichtmagnetischen Fraktion in Korn-% durch magnetische Suszeptibilität der Gesamtfrak-

tion, beide Parameter sind positiv korreliert,  $R^2 = 0,68$ , und 2. der aus maximalen Korndurchmessern bestimmte Mittelwert der nichtmagnetischen Fraktion durch den geschätzten Median der nichtmagnetischen Fraktion, beide Parameter sind positiv korreliert,  $R^2 = 0,96$ . In dem Dendrogramm der Abbildung 4 resultiert dies auf dem 35 %-Niveau in einer vollständigen Trennbarkeit der Proben aus Weißdünen von Fein- bis Mittelsand-Proben vom Strandwall sowie vom Swine-Ästuar und der Bachmündung, Gelbdüne, Schwermineralseife und die zwei Grobsande bilden jeweils eine separate Gruppe, eine Mischgruppe wie oben gibt es dabei nicht.

## 4 Diskussion

### 4.1. Anthropogene Metallreste

Da sich alle Lokationen, an denen anthropogene Metallreste beobachtet wurden, mit Ausnahme einer Schlacke bei Stubbenfelde, im Ostteil Usedom befinden, die bombardierten Anlagen bei Peenemünde aber im äußersten Nordwesten liegen, ist es unwahrscheinlich, dass die Blechpartikel aus Munitionsresten von der Peenehalbinsel abzuleiten sind. Auch der rekonstruierte Netto-Sedimenttransport (ANONYMUS 2009) spricht dagegen. Ein Ursprung im Hafengebiet von

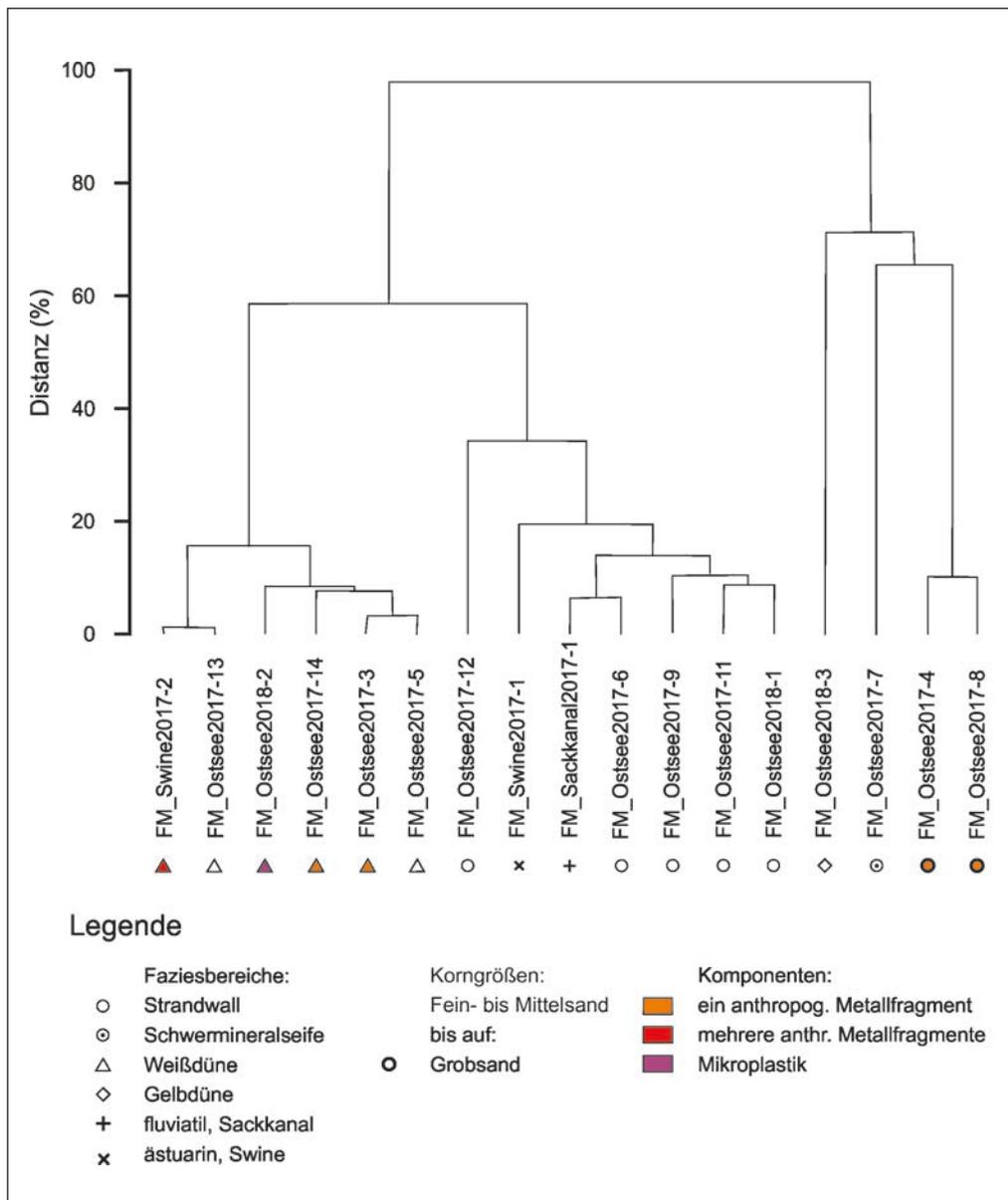


Abb. 4: Dendrogramm mit WARD's Algorithmus, quadrierte euklidische Distanzen, der Cluster-Analyse der Parameter Schwermineralanteil der nichtmagnetischen Fraktion, Mittelwert der nichtmagnetischen Fraktion, Munsell-Intensität, Mg- und Si-Gehalt der Oxalat-löslichen Fraktion.

Fig. 4: Dendrogram using WARD's algorithm, squared euclidian distances, for the cluster analysis of the parameters heavy mineral content of nonmagnetic fraction, mean of nonmagnetic fraction, Munsell intensity, Mg- and Si-content of oxalate-solvable fraction.

Swinemünde ist wahrscheinlicher. Die im Ostteil Usedom nachweisbaren magnetischen Sphärule wurden offenbar mit östlichen Winden, z. B. aus den Schornsteinen von Frachtschiffen auf der Swine, in den Ostteil Usedom verweht. Die Häufigkeit anthropogener Metallfragmente bzw. metallischer Sphärule ist in den untersuchten Proben sehr gering bis auf eine Probe mit etwa einem Metallpartikel in 10 g Trockenmaterial von einer Düne in Swinemünde. Hieraus kann eine Einschränkung der Erholungsqualität für Badegäste durch Metallpartikel zumindest für die untersuchten Lokationen ausgeschlossen werden.

## 4.2 Magnetische Suszeptibilität

Im Vergleich mit Proben aus dem Litoral der südlichen Ostsee zeigen diejenigen von Usedom höhere Werte der magnetischen Suszeptibilität. In Schwermineralseifen Usedom wurden von PFEIFFER (1972) mit bis zu 21 Gew.-% Magnetit in der Gesamtfraktion die höchsten Gehalte an der mecklenburgischen Ostseeküste festgestellt. Offenbar sind glazigene Ablagerungen der Insel Usedom und seewärts vorgelagerter Untiefen ungewöhnlich reich an magnetischen Komponenten, was für ein an basischen Magmatiten, z. B. präkambrische Gesteine im südlichen Schweden in der Blekinge-Region nördlich Karlskrona: Granodiorite, Tonalite, oder in Småland: Gabbros, Diorite, Ultramafite (KOISTINEN et al. 2001) und Eisenerze bei Smålands Taberg, oder den Ostseegrund mit kambro-silurischen Sedimenten südlich Bornholm (siehe FREDÉN 1994), als Herkunft sprechen könnte.

Die geringen Werten der Frequenzabhängigkeit der magnetischen Suszeptibilität zeigen nach DEARING et al. (1996) und EVANS & HELLER (2003) das Dominieren von ferrimagnetischen Multi-Domain- und Pseudo-Single-Domain-Partikeln im Bereich  $> 1 \mu\text{m}$  und das Fehlen superparamagnetischer Partikel  $< 0,03 \mu\text{m}$  an. Die kleinsten unter dem Mikroskop beobachteten Körner der magnetischen Fraktion liegen bei  $10 \mu\text{m}$ , PFEIFFER (1972) beobachtete in Seifen von Usedom als kleinste Korngröße für Magnetite  $90 \mu\text{m}$ . Feineres ferrimagnetisches Material, primär aus Lithoklasten mit kleiner Korngröße oder sekundär durch Aufarbeitung von einzelnen Titanomagnetit-Körnern aus Lithoklasten im Litoral, bleibt im seewärtigen Litoral Usedom offensichtlich in Suspension und wird mit der Feinfraktion erst in distalen tieferen Beckenbereichen sedimentiert.

PUPIENIS et al. (2011) konnten zeigen, dass sich im Litoral Litauens die Schwerminerale Granat, Rutil, Zirkon, Magnetit, Ilmenit und Hornblende durch erhöhte magnetische Suszeptibilität von den normalen Quarz-reichen Sanden unterscheiden lassen. Nach den hier vorgelegten Ergebnissen eignet sich auch auf Usedom die magnetische Suszeptibilität sehr gut zum Nachweis erhöhter Schwermineralegehalte, insbesondere von Granat. Bei einer Gewinnung von Schwermineralen aus Offshore geförderten Sanden im Bereich zwischen Usedom und Bornholm könnten wahrscheinlich Messungen der Volumen-spezifischen magneti-

schen Suszeptibilität, z. B. mit Ringsensoren um ein Kunststoff-Rohr für den Materialtransport, höfliche Sande während der Förderung anzeigen.

## 4.3 Sedimentumlagerung

Das häufige Auftreten von gelblichen bis orangefarbenen Kutanen um Quarzkörner spricht für die Fällung von Goethit oder Ferrihydrit in den Weißdünen Usedom. Der pH des von den Wasserwerken auf Usedom geförderten Trinkwassers liegt nach <https://www.zv-usedom.de/index.php/informationen/haertebereich-ph-werte> bei 7,2 bis 7,7; der  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt von 2-4 mmol/l dürfte sowohl aus aufgewehten Molluskenschalen als auch aus karbonatischen Klaksten stammen. Für Dünen ergäbe sich bei geringen Sauerstoffgehalten für pH 7,5 nach dem Pourbaix-Diagramm in (SCHWERTMANN 2008) eine mögliche Fällung von sowohl Goethit als auch Ferrihydrit. Zumindest für eine Gelbdüne zeigt die Oxalsäure-Extraktion die Dominanz von Goethit an. In den im Frühjahr 2017 beprobten Sanden des Strandwalles stammen von Kutanen umhüllte Körner offensichtlich aus Material der bei Stürmen abradierten Vordünen und der vordersten Weißdünen-Kette. Da Brandungsaktivität zu einem raschen Verlust der Kutane führen würde, dürften diese Strandproben vor allem Material enthalten, das durch die Sturmflut am 5. Januar 2017 (siehe z. B. „Die Zeit“ vom 5.1.2017, <https://www.zeit.de/gesellschaft/zeitgeschehen/2017-01/unwetter-hochwasser-ostsee-schleswig-holstein-mecklenburg-vorpommern>) abradiert wurde. Hierfür spricht auch, dass sich im Litoral Usedom Proben sowohl vom nassen Strand als auch von Vor- und Weißdünen bei Kornform, -größe sowie Komponenten einschließlich der Häufigkeit von Quarzkörnern mit Fe-reicher Kutane ähnlich sind. Auch das Material, das in der Swine transportiert wird, sollte im Wesentlichen aus Dünenansanden bestehen, aufgrund der geringen Korngröße vermutlich aus weiter vom Ufer entfernten Dünen. Sehr wahrscheinlich erfolgt im Litoral Usedom als Folge von Stürmen ein mehrfacher Wechsel der Sandkörner zwischen den Ablagerungsmilieus nasser Strand und Weißdünen. Hierfür spricht auch das Auftreten einer „Mischgruppe“ bei der multivariaten Analyse.

In der Sedimentologie wird die Korngrößenverteilung als wichtiges Werkzeug zur Paläomilieu-Analyse eingesetzt. Hydraulisch äquivalente Partikel, die in einer stehenden Wassersäule mit gleicher Geschwindigkeit absinken, können sich in Volumen, Form und Dichte unterscheiden (SELLEY 2000), außerdem haben die Partikelkonzentration, Temperatur und Dichte der Lösung einen Einfluß auf die Sinkgeschwindigkeit (FLEMMING 2007). Ein kugelförmiges Quarzkorn mit einem Durchmesser  $233 \mu\text{m}$  mit einer Dichte von  $2,65 \text{ g cm}^{-3}$  sinkt nach FLEMMING (2007) genau so schnell wie ein annähernd isometrisches Titanomagnetitkorn mit einer Dichte von 5,1 bis  $5,18 \text{ g cm}^{-3}$  (BOENIGK 1983) mit einem Durchmesser von  $149 \mu\text{m}$ . Generelle Aspekte zu Wellenaktivität und Transport von Schwermineralen werden u. a. bei TOMKINS et al. (2003) beschrieben.

Nur in höherenergetischen Milieus kann es zur Seifenbildung kommen (SELLEY 2000), (MCCAVE & SYVITSKI 2007). In einer Vordünen-Seife von Bansin liegt der Median von Magnetit bei ca. 188 µm und von Quarz bei 240 µm nach PFEIFFER (1972). Zu erwarten wäre demnach, dass im Litoral Usedom Titanomagnetitkörner deutlich kleiner sind als die zusammen mit ihnen abgelagerten Quarzkörner. Für die 17 in dieser Studie untersuchten Proben zeigen Mediane der nichtmagnetischen und der magnetischen Fraktion eine positive Korrelation mit  $R^2 = 0,86$  und eine Steigung der Regressionsgeraden von nahezu 1, Ähnliches ergibt sich für die Korrelation der Mediane von matten und glänzenden Quarzkörnern gegen die der Titanomagnetitkörner mit  $R^2 = 0,707$  bei einer Steigung von 1, siehe Abbildung 5. Im Schwallbereich des Strandwalls mit dem Auslaufen der Wellen, mit dem Wechsel von turbulenter zu schießender Strömung, mit zum Spülsaum abnehmenden Mächtigkeiten der Wassersäule, Schaumbildung und Abweichungen der Transportrichtung von der Lotrechten um mehrere 10er Grad je nach Windrichtung erfolgt offensichtlich der Transport von Quarzkörnern und etwa gleich großen schwereren Titanomagnetiten gemeinsam! Auch für den maximal etwa 100 m langen Bereich des wenige Dezimeter über den Was-

serspiegel ragenden trockenen Strandes zwischen Strandwall und Vordünen bzw. vorderster Weißdünen-Kette sind bei stärkeren Winden turbulente Strömungen zu erwarten.

Die einheitlichen Curie-Temperaturen in litoralen Ablagerungen der Insel Usedom könnte man perspektivisch nutzen, um über den Vergleich der Curie-Temperaturen potentieller Liefergesteine in den Kliffs den Ursprung der Titanomagnetite und damit den Horizont, aus dem das Material durch Abrasion stammt, zu bestimmen.

#### 4.4 Rekonstruktion von Ablagerungsmilieus

Aus den Parametern magnetische Suszeptibilität der Gesamtfraktion, geschätzter Median, Munsell Intensität, Mg- und Si-Gehalt der oxalatlöslichen Fraktion lassen sich für eine Rekonstruktion des Ablagerungsmilieus von holozänen Sedimenten des Küstenbereichs von Usedom aus Sanden mit Hilfe der multivariaten Statistik Einstufungen der Proben in entweder ein äolisches Milieu oder in das seewärtige Litoral mit den Bereichen nasser Strand, Swine-Ästuar und Bachlauf auf aktuogeologischer Basis vornehmen.

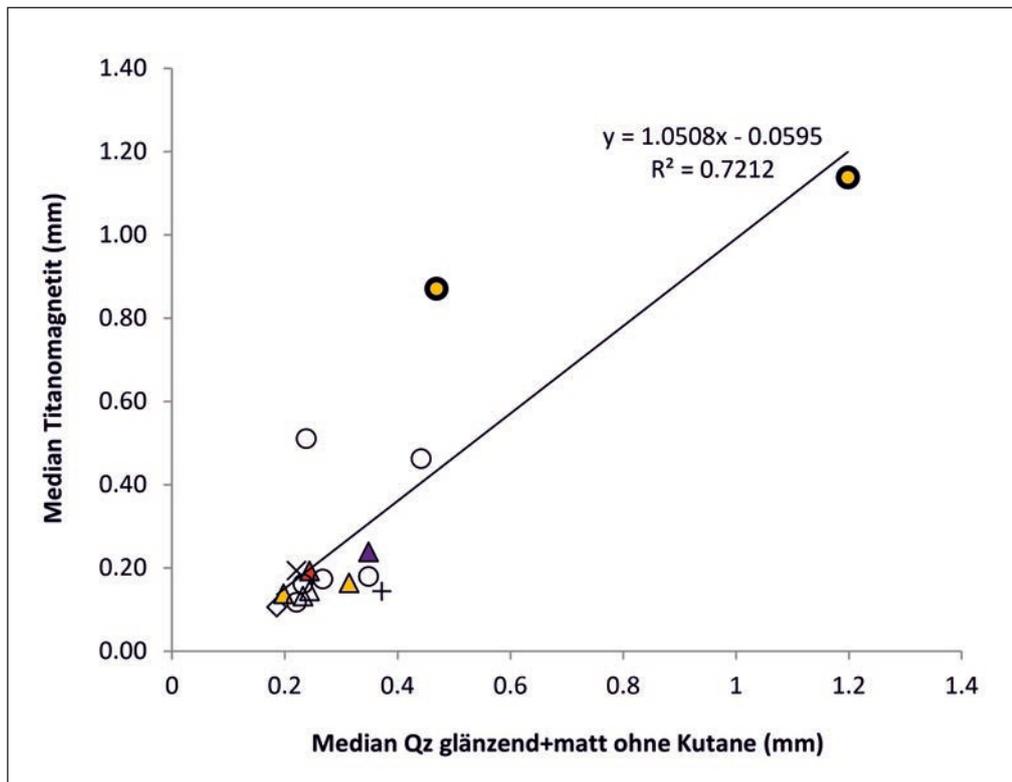


Abb. 5: Mediane der Titanomagnetite gegen diejenigen von Quarz glänzend und Quarz matt, ohne Kutane. Kreise = Strandwall, Dreiecke = Vor- und Weißdüne, Raute = Gelbdüne, + = Bachmündung Sackkanal, x = Swine-Ästuar; rot = mehrere anthropogene Metallpartikel, orange = ein bis zwei Metallpartikel, lila = mit Mikroplastik; fester Rand = Grobsande.

Fig. 5: Medians of titanomagnetite against those of brilliant and matt quartz, without cutane. Circle = beach ridge, triangle = fore dunes, white dunes, diamond = yellow dune, + = mouth of river Sackkanal, x = Swine estuary; red = several metal particles, orange = 1-2 metal particles, purple = with microplastic; bold margin = coarse sands.

## Zusammenfassung

Bezogen auf die vier Ausgangsfragen bzw. Ziele lassen sich folgende Aussagen treffen: 1. Anthropogene Metallfragmente und magnetische Sphärule liegen im Litoral nur im Südost-Teil Usedom in geringen Konzentrationen vor, sie stammen vermutlich aus dem Hafengebiet von Swinemünde; ein Bezug zu Munitionsresten ist aufgrund der räumlichen Verteilung der Lokationen mit Metallresten weitgehend auszuschließen. 2. Im Litoral Usedom zeigt das Schwermineral Granat eine hohe positive Korrelation mit der Masse-spezifischen magnetischen Suszeptibilität, so dass die Suszeptibilität sich im Bereich Usedom für die Suche nach Schwermineral-Seifen erfolgreich anwenden ließe. 3. Im Frühjahr 2017 bei Ahlbeck beprobte Lithoklasten-reiche litorale Sande des Strandwalls zeigen erheblichen Nettotransport von der nächstgelegenen Steilküste nach Südosten über mehrere Kilometer an. 4. Rezentbeobachtungen im Litoral der Insel Usedom belegen, dass sich aus den mit relativ geringem Aufwand bestimmbar Parametern magnetische Suszeptibilität, geschätzter Median der nichtmagnetischen Fraktion, Munsell-Intensität, Mg- und Si-Gehalt der oxalatlöslichen Fraktion, eine Einordnung von Sanden in die Milieus Dünen, Strand und fluvial-ästuariner Bereich durchführen lässt. Dies könnte für sandiges Bohrgut ohne Erhalt von Schichtungsmerkmalen oder Fossilien bei der Interpretation holozäner Sedimentabfolgen im Hinblick auf die relative Position des Meeresspiegels genutzt werden. Die Ablagerungen des Strandwalls und des trockenen Strandes lassen sich allerdings auch ohne Statistik erkennen, wenn magnetische Partikel die gleiche Größe haben wie nichtmagnetische.

## Summary

With reference to the starting questions and aims of this study the following results can be given: 1. Anthropogenic metal fragments and magnetic spherules, present in low concentrations only in the southeastern part of the Island of Usedom, probably originate from ships in the harbour of Świnoujście. 2. The heavy mineral garnet in litoral sands is highly correlated with mass-specific magnetic susceptibility, therefore this method is suitable for the detection of placers at Usedom. 3. For spring 2017, lithoclast-rich sands at Ahlbeck indicate coast-parallel net transport from the next cliff with moraine material in a southeastern direction over a distance of several kilometers. 4. Studies in the recent litoral zone of the Island of Usedom demonstrate that by means of the parameters magnetic susceptibility, Munsell value, Mg and Si content of oxalate-soluble fraction, all of them determinable with relatively sparse amount of lab work, an attribution of coastal sands to the sedimentary environments: dunes, beach, fluvial-estuarine zone, is possible; this could help for the interpretation of Holocene sediment sequences with respect to shore distance in sediment cores where no bedding structures or fossils are preserved.

## Danksagung

Die Nutzung des Keyence Digitalmikroskops ermöglichte Herr Prof. Dr. Christoph Heubeck, Lehrstuhl für allgemeine und historische Geologie der Friedrich-Schiller-Universität Jena, die Einführung übernahmen Herr Dr. Steven Flesh und Herr PD Dr. Peter Frenzel, Herr Frank Linde führte die Schwermineralabtrennung durch. Ein Bartington-Susceptibility-Temperature-System stand in der Arbeitsgruppe von Herrn Prof. Dr. Thorsten Schäfer, Lehrstuhl für angewandte Geologie der Friedrich-Schiller-Universität Jena, zur Verfügung. Zwei Proben vom Kummerower See wurden von Frau Dr. Daniela Nägelein und Herrn Jens Buschhardt, Leipzig, zur Verfügung gestellt. Für diese Unterstützung möchten wir uns herzlich bedanken.

## Literatur

- ANONYMOUS (2000): Munsell Soil Color Charts, 1. ed. – Grand Rapids, MI (Munsell Color x-rite)
- ANONYMUS (2018): BGR Report - Mai 2019, 82 S., Hannover (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe)
- ANONYMUS (2009): Regelwerk Küstenschutz Mecklenburg-Vorpommern, Übersichtsheft: Grundlagen, Grundsätze, Standortbestimmung und Ausblick. – 102 S., Rostock (Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern)
- BACHOR, A. (2005): Nährstoff- und Schwermetallbilanzen der Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns unter besonderer Berücksichtigung ihrer Sedimente. – Schriftenr. LA Umwelt Naturschutz Geol. Meckl.-Vorpommern 2, S. 1-233
- BACKHAUS, K., ERICHSON, B., PLINKE, W. & WEIBER, R. (1996): Multivariate Analyse-Methoden. – 591 S., Berlin, Heidelberg, New York (Springer Verlag)
- BARTINGTON-INSTRUMENTS (2018): MS2 / MS3 magnetic susceptibility system. – 22 S., Witney, Oxon, U.K. (Bartington Instruments Limited)
- BARTINGTON-INSTRUMENTS (o. A.): Operation manual for MS2 magnetic susceptibility system. – OMO408/49. 82 S., Witney, Oxon, U. (Bartington Instruments)
- BECKER, S. & DIETZE, H.-J. (1986): Massenspektrographische Konzentrationsbestimmung der Selten-Erden-Elemente an Schwermineralfraktionen der Ostsee-Strandseifen. – Z. angew. Geol. 32, S. 299-301
- BLUME, H.-P., BRÜMMER, G. W., HORN, R., KANDELER, E., KÖGEL-KNABNER, I., KRETZSCHMAR, R., STAHR, K. & WILKE, B.-M. (2010): Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde. – 16. Aufl., 570 S., Wiesbaden (Springer Spektrum)

- BOBERTZ, B., HARFF, J., LEMKE, W., USCINOWICZ, S., KRAMARSKA, R., ZACHOWICZ, J. & PRZEDZIECKI, P. (2006): Surface sediments of the south-western Baltic Sea. 1: 250 000, 1 map sheet, 12 pages text, CD 1. Aufl. – Warszawa, Warnemünde (Polish Geological Institute Warsaw, Baltic Sea Research Institute Warnemünde)
- BOENIGK, W. (1983): Schwermineralanalyse. – 158 S., Stuttgart (Enke Verlag)
- BORÓWKA, R. K., LATALOWA, M., OSADCZUK, A., SWIETA, J. & WITKOWSKI, A. (2002): Palaeogeography and palaeoecology of Szczecin Lagoon. – Greifswalder geograph. Arb. **27**, S. 107–113
- DEARING, J. (1994): Environmental magnetic susceptibility - using the Bartington MS2 system. – 104 S., Kenilworth, UK (Chi Publishing)
- DEARING, J. A., DANN, R. J. L., HAY, K., LEES, J. A., LOVELAND, P. J., MAHER, B. A. & O'GRADY, K. (1996): Frequency-dependant susceptibility measurements of environmental materials. – Geophys. J. Intern. **124**, p. 228–240
- DENG, J., ZHANG, W., HARFF, J., SCHNEIDER, R., DUDZINKA-NOWAK, J., TEREFEENKO, P., GIZA, A. & FURMANCZYK, K. (2014): A numerical approach for approximating the historical morphology of wave-dominated coasts - A case study of the Pomeranian Bight, southern Baltic Sea. – Geomorphology **204**, p. 425–443
- DOBENECK, T.V., PETERSEN, N. & VALI, H. (1987): Bakterielle Mikrofossilien - palaeomagnetische und palaeontologische Spuren einer ungewöhnlichen Bakteriengruppe. – Geowiss. uns. Zeit **5**, S. 27–35
- DUPHORN, K., KLIEWE, H., NIEDERMEYER, R.-O. & WERNER, F. (1995): Die deutsche Ostseeküste. – Sammlg. geol. Fü., 88, 281 S., Berlin, Stuttgart (Gebrüder Bornträger)
- EVANS, M. E. & HELLER, F. (2003): Environmental magnetism - principles and applications of enviromagnetics. – 299 pp, Amsterdam, Boston etc. (Academic Press)
- FABIAN, K., SHCHERBAKOW, V. P. & MCENROE, S. A. (2013): Measuring the Curie temperature. – Geochem. Geophys. Geosyst. **14**, p. 947–961
- FLEMMING, B.W. (2007): The influence of grain-size analysis methods and sediment mixing on curve shapes and textural parameters: Implications for sediment trend analysis. – Sediment. Geol. **202**, p. 425–435
- FREDÉN, C. (1994): Geology. - National Atlas of Sweden, – 208 pp., Stockholm (SNA Publishing Stockholm University)
- GRANITZKI, K. & KATZUNG, G. (2004): Steine und Erden. - In: KATZUNG, G. (Hrsg.): Geologie von Mecklenburg-Vorpommern – S. 409–419, Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung)
- HARFF, J., BOBERTZ, B., GRANITZKI, K., LEMKE, W. & WEHNER, K. (2004): Sand and gravel deposits in the south-western Baltic Sea, their utilization and sustainable development. – Z. angew. Geol. **Sonderheft 2**, S. 111–123
- HOFFMANN, G. & REICHERTER, K. R. (2012): Soft-sediment deformation of Late Pleistocene sediments along the southwestern coast of the Baltic Sea (NE Germany). – Intern. J. Earth Sci. **101**, p. 351–363
- JANOUSEK, V., FARROW, C. M. & ERBAN, V. (2006): Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (GCD-kit). – J. Petrology **47**, p. 1255–1259
- JORDANOVA, D., JORDANOVA, N. & HOFFMANN, V. (2006): Magnetic mineralogy and grain-size dependence of hysteresis parameters of single spherules from industrial waste products. – Physics Earth Planet. Inter. **154**, p. 255–265
- KOENSLER, W. (1989): Sand und Kies - Mineralogie, Vorkommen, Eigenschaften, Einsatzmöglichkeiten. –123 S., Stuttgart (Ferdinand Enke Verlag)
- KOISTINEN, T., STEPHENS, M. B., BOGATCHEV, V., NORDGULEN, Ø., WENNERSTRÖM, M. & KORHONEN, J. (2001): Geological map of the Fennoscandian Shield 1 : 2 000 000, 1. ed. – (Geological Surveys of Finland, Norway and Sweden, North-West Department of Natural Resources of Russia)
- KRIENKE, H.-D. (2004): Usedom. - In: KATZUNG, G. (Hrsg.): Geologie von Mecklenburg-Vorpommern – S. 327–332, Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung)
- LAGERLUND, E., PERSSON, K. M., KRZYSZKOWSKI, D., JOHANSSON, P., DOBRACKA, E., DOBRACKI, R. & PANZIG, W.-A. (1995): Unexpected ice flow directions during the Late Weichselian deglaciation of the south Baltic area indicated by a new lithostratigraphy in NW Poland and NE Germany. – Quatern. Intern. **28**, p. 127–144
- LASS, H. U., MOHRHOLZ, V. & SEIFERT, T. (2001): On the dynamics of the Pomeranian Bight. – Contin. Shelf Res. **21**, p. 1237–1261
- LEIPE, T., EIDAM, J., LAMPE, R., MEYER, H., NEUMANN, T., A., O., JANKE, W., PUFF, T., BLANZ, T., GINGELE, F.X., DANNENBERGER, D. & WITT, G. (1998): Das Oderhaff - Beiträge zur Rekonstruktion der holozänen geologischen Entwicklung und anthropogenen Beeinflussung des Oder-Ästuars. – Meereswissenschaftliche Berichte **28**, S. 1–83

- MC CAVE, I. N. & SYVITSKI, J. P. M. (2007): Principles and methods of geological particle size analysis. - In: SYVITSKI, J. P. M. (Hrsg.): Principles, methods, and application of grain size analysis – p. 3–11, Cambridge (Cambridge University Press)
- ORDWAY, F. I. I., III, F. I. O., DAHM, W. K., DANNENBERG, K., HÄUSSERMANN, W., REISIG, G., STUHLINGER, E., TIESENHAUSEN, G. v. & WILLHITE, I. (2007): A memoir: From Peenemünde to USA: A classic case of technology transfer. – *Acta Astronautica* **60**, p. 24–47
- OSADCZUK, K. (2002): Evolution of the Świna barrier spit. – *Greifswalder geograph. Arb.* **27**, S. 119–126
- PETTIJOHN, F. J., POTTER, P. E. & SIEVER, R. (1973): Sand and sandstone. – 618 pp., Berlin Heidelberg New York (Springer Verlag)
- PFEIFFER, H. (1972): Schwermineralseifen, Küstendynamik und Sedimenthaushalt sandiger Flachküsten Mecklenburgs. – *Jahrbuch Geologie* **4**, S. 301–346; Berlin
- PIRRUNG, M., BÖHM, M., MERTEN, D. & KUNZ-PIRRUNG, M. (2019): Forschungsprojekt FluviMag: Fluviatiler Transport von Magneto-Mineralen - 5.12. Litoral – Usedom - <http://angeo.uni-jena.de/mitarbeiter/pirrung-michael.html>, 49 S.
- PUPIENIS, D., BUYNEVICH, I. V. & BITINAS, A. (2011): Distribution and significance of heavy-mineral concentrations along the southeast Baltic Sea coast. – *J. Coastal Res.* **SI 64**, p. 1984–1988
- PUSCH, M. & AL., E. (2009): Rivers of the Central European Highlands and Plains. - In: (Hrsg.): Rivers of Europe – p. 525–576, Cambridge, Massachusetts (Academic Press)
- SCHWERTMANN, U. (1959): Die fraktionierte Extraktion der freien Eisenoxide im Boden, ihre mineralogischen Formen und ihre Entstehungsweisen. – *Z. Pflanzenernähr. Bodenkunde* **84**, S. 194–204
- SCHWERTMANN, U. (2008): Iron oxides. - In: CHESWORTH, W. (Hrsg.): Encyclopedia of soil science – p. 363–369, Berlin, Hamburg, New York (Springer)
- SELLEY, R. C. (2000): Applied sedimentology. – 523 pp., San Diego (Academic Press)
- SHANKAR, R., THOMPSON, R. & PRAKASH, T. N. (1996): Estimation of heavy and opaque mineral contents of beach and offshore placers using rock magnetic techniques. – *Geo-Mar. Lett.* **16**, p. 313–318
- STOW, D. A. V. (2008): Sedimentgesteine im Gelände - ein illustrierter Leitfaden. – 320 S.; Heidelberg (Spektrum Akademischer Verlag)
- THOMPSON, R. & OLDFIELD, F. (1986): Environmental magnetism. – 227 pp., London (Allen & Unwin)
- TOMKINS, M. R., NIELSEN, P. & HUGHES, M. G. (2003): Selective entrainment of sediment graded by size and density under waves. – *J. Sedimentary Res.* **73**, p. 906–911;
- TUCKER, M.E. (1985): Einführung in die Sedimentpetrographie. – 265 S., Stuttgart (Enke Verlag)
- VAN LOON, T. & PISARSKA-JAMRO, M. (2017): Changes in the heavy-mineral spectra on their way from various sources to joint sinks. - In: MUZUMDER, R. (Hrsg.): Sediment Provenance - influences on compositional change from source to sink – p. 49–62, Amsterdam (Elsevier)
- VIEHBERG, F. A., FRENZEL, P. & HOFFMANN, G. (2008): Succession of late Pleistocene and Holocene ostracode assemblages in a transgressive environment: A study at a coastal locality of the southern Baltic Sea (Germany). – *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.* **264**, p. 318–329
- WARREN, G. (1974): Simplified form of the Folk-Ward skewness parameter. – *J. Sediment. Petrol.* **44**, p. 259
- WASMUND, E. (1938): Die Schwerminerallagerstätten der deutschen Küsten. – *Geol. Rundschau* **29**, S. 287–300

**Anschrift der Autoren:**

PD Dr. Michael Pirrung  
Friedrich-Schiller-Universität, Institut für Geowissenschaften  
Burgweg 11  
D-07749 Jena  
Email: michael.pirrung@uni-jena.de  
Tel.: (+49) 36 41 94 86 44

M.Sc. Geogr. Marcus Böhm  
Friedrich-Schiller-Universität, Institut für Geowissenschaften  
Burgweg 11  
D-07749 Jena  
Email: marcus.boehm@uni-jena.de

Dr. Dirk Merten  
Friedrich-Schiller-Universität, Institut für Geowissenschaften  
Burgweg 11  
D-07749 Jena  
Email: dirk.merten@uni-jena.de

Dr. Martina Kunz-Pirrung  
Helmholtz Zentrum für Umweltforschung,  
Wissenschaftlich-Administrative Projektbetreuung  
Permoser Straße 15  
D-04318 Leipzig  
Email: martina.kunz-pirrung@ufz.de

Brandenburg. geowiss. Beitr.	Cottbus	27 (2020), 1/2	S. 47–60	10 Abb., 3 Tab., 23 Zit.
------------------------------	---------	----------------	----------	--------------------------

# Geogene Grundwasserversalzung in Berlin

## Geogenic groundwater salinization in Berlin

TIM SCHRAMM & RAINER HERD

### Ausgangssituation

Die geogene Grundwasserversalzung ist in Berlin und im Berliner Umland spätestens seit Anfang des 20. Jahrhunderts aufgrund zunehmender Grundwasserförderung stärker in den Focus gerückt. Sowohl in der Historie als auch aktuell werden Wässer mit weniger als 1000 mg/l Gesamtlösungsinhalt als Süßwasser und mit mehr als 1000 mg/l als Besonderheit und Ausnahme angesehen, insofern sie in oberflächennahen Schichten anzutreffen sind (DAVIS & DE WIEST 1967). Die Süßwasserentnahme führte mancherorts zu einem Ansteigen des Salzgehaltes in den Brunnen der Wasserwerke und wurde somit zum nutzungsbegrenzenden Faktor für die Trinkwassergewinnung (HANNEMANN & SCHIRRMESTER 1998).

Historisch betrachtet sind insbesondere drei Meilensteine festzuhalten, welche die geogene Grundwasserversalzung in Berlin und im Berliner Untergrund behandeln: a) die Hydrogeologische Übersichtskarte der DDR 1:200.000 (bis 1977), b) das Hydrogeologische Kartenwerk der DDR – HK 50 (1979 bis 1984) für den Ostteil Berlins und c) die Bohrprogramme „Nord“ und „Süd“ für den Westteil Berlins (1972 bis 1988). Neben den genannten Kartenwerken wurden zusätzlich, teilweise sehr detaillierte, Untersuchungen für ausgewählte Bereiche vorgenommen. Insgesamt steht bisher aber keine detaillierte gesamtheitliche Darstellung der Versalzungssituation für den Raum Berlin zur Verfügung. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, aus den vorliegenden Informationen (Karten und Daten der verschiedenen Untersuchungsprogramme) die salzwasserrelevanten Informationen zu extrahieren, zu validieren und für die Erstellung neuer Karten zu nutzen.

### Geologische und hydrogeologische Situation

Morphologisch kann der Berliner Raum in drei Hochflächen und ein Niederungsgebiet unterteilt werden: die Nauener Platte im Südwesten, die Teltow-Hochfläche im Süden, die Barnim-Hochfläche im Norden und Nordosten sowie das Niederungsgebiet des Warschau–Berliner Urstromtals im zentralen Teil (siehe Abb. 1).

Die Geländehöhen der Hochflächen liegen jeweils zwischen 40 und 70 m NHN (vgl. Abb. 2). Ausgenommen davon sind Bereiche im westlichen Teil der Nauener Platte sowie im Norden und Nordosten der Barnim-Hochfläche.

Von Nordwest- nach Südost-Berlin verläuft das, sich über einen großen Teil des Stadtzentrums erstreckende, Niederungsgebiet des Warschau–Berliner Urstromtals. Es liegt mit einer Geländehöhe von 25 bis 45 m NHN ca. 25 m tiefer als die Hochflächen. Eine lokale Ausnahme bilden hier die höher aufragenden Müggelberge im Südosten. Die Oberflächengestalt des Berliner Raums wurde im Wesentlichen in der letzten Eiszeit, der Weichsel-Kaltzeit, geformt. Im oberflächennahen Untergrund treten die in Tab. 1 aufgeführten stratigraphischen Einheiten des jüngeren Tertiärs und des Quartärs auf.

Die erdzeitlich jüngsten, holozänen Schichten, bestehend aus Torfen, Mudden, Dünen, Flusssanden und anmoorigen Sanden befinden sich hauptsächlich im Warschau–Berliner Urstromtal. Im Liegenden der holozänen Schichten lagern die Schichtfolgen der Weichsel-Kaltzeit und des Weichsel-Spätglazials (GWL 1) mit Schmelzwassersanden, Geschiebelehmen und -mergeln sowie Dünen-sanden (LANDESGEOLOGIE BERLIN 2020). Im Liegenden der Weichsel-Schichtfolgen folgen die Schichten der Saale-Kaltzeit (GWL 2) mit Schmelzwassersanden, Geschiebelehmen und -mergeln sowie Beckentonen und -schluffen. Sie sind in Berlin großflächig verbreitet, während die Schichten der Eem-Warmzeit, bestehend aus Torfen, Mudden und anmoorigen Sanden, nur sehr lokal ausgeprägt sind.

Die Ablagerungen der Holstein-Warmzeit im Liegenden bilden einen großräumig aber nicht im gesamten Raum Berlin ausgebildeten Grundwassergeringleiter. Die Oberkante dieser Schichten befindet sich in einer Tiefe von meist –10 m NHN bis +10 m NHN und die Ablagerungen sind in der Regel nicht mächtiger als 30 m. Sie bestehen vorwiegend aus Torfen, Mudden, Tonen und Schluffen mit Schnecken (*Viviparus diluvianus*). Wie in Abb. 3 zu erkennen, sind die

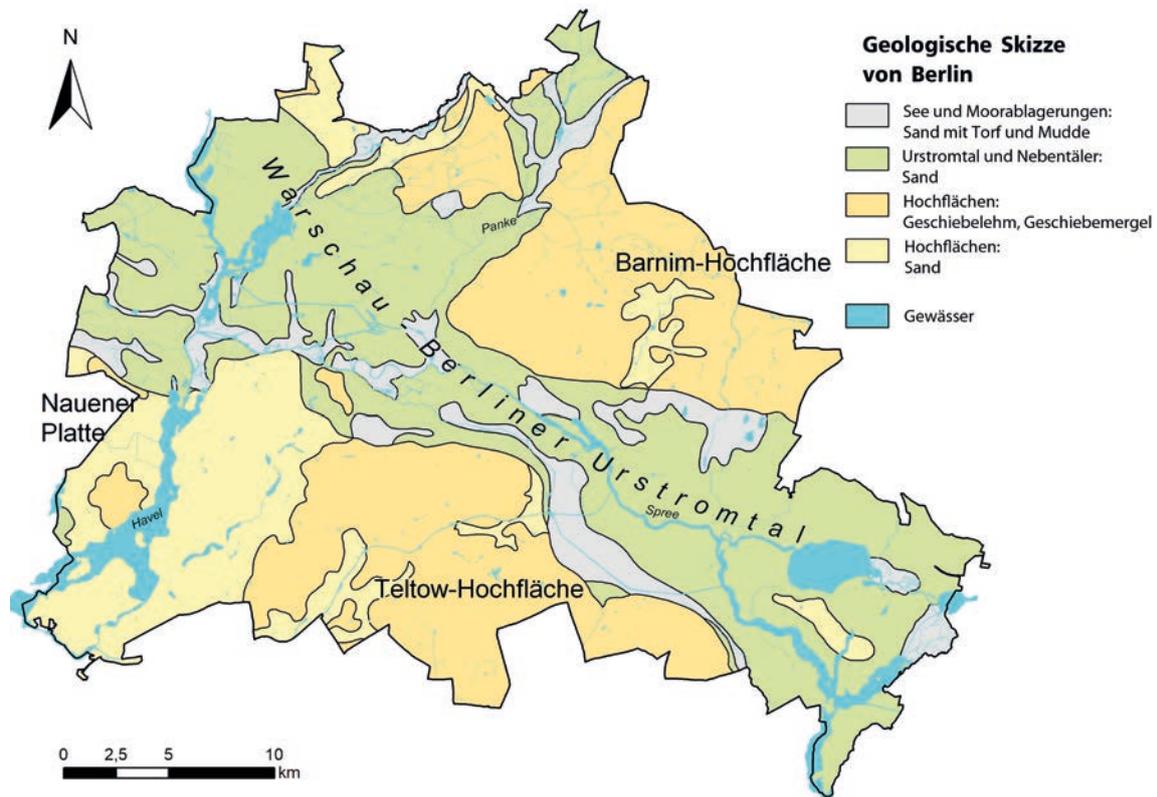


Abb. 1: Geologische Skizze von Berlin mit naturräumlich-geomorphologischer Unterteilung (LANDESGEOLOGIE BERLIN 2008)  
 Fig. 1: Geological sketch of Berlin with geomorphological subdivision (LANDESGEOLOGIE BERLIN 2008)

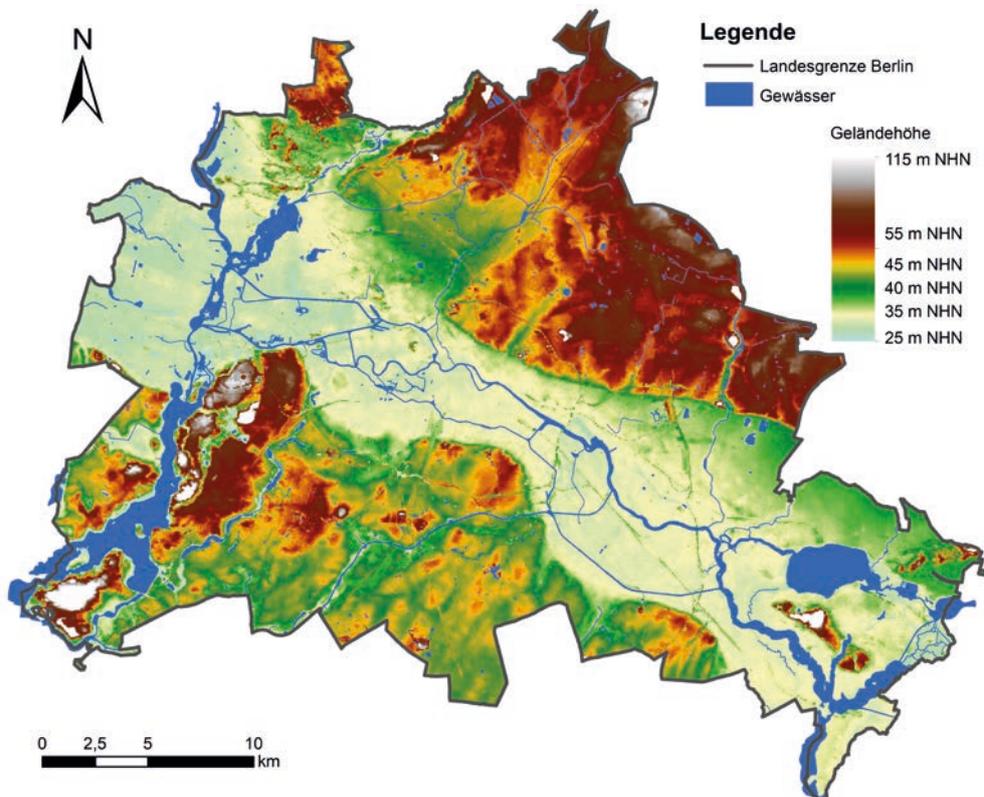


Abb. 2: Geländehöhen von Berlin mit Darstellung der Gewässer; Datenbasis: Digitales Geländemodell 50 (GEOPORTAL BERLIN 2018)  
 Fig. 2: Terrain heights of Berlin with water bodies; database: digital terrain model 50 (GEOPORTAL BERLIN 2018)

Periode	Epoche	Stufe	Hydrostratigraphie	Typische Ablagerungen
Quartär	Holozän		GWL 1	Dünen, Fluss- und anmoorige Sande
	Pleistozän	Weichsel-Kaltzeit	GWL 1	Schmelzwassersande
			GWGL	Geschiebelehm-/mergel
		Saale-Kaltzeit	GWL 2	Schmelzwassersande
		Holstein-Warmzeit	GWGL	Torfe, Mudden, Tone und Schluffe
	Elster-Kaltzeit	GWL 3	Schmelzwassersande	
Tertiär	Miozän		GWGL	Braunkohlentone und -schluffe
			GWL 4	Sande
	(Ober-) Oligozän	Cottbus-Formation	GWL 4	Feinsande
	(Unter-) Oligozän	Rupelton-Formation	GWGL	Ton teilweise mit Septarien

Tab. 1: Auszug aus der schematischen Gliederung des Quartärs und Tertiärs mit hydrostratigraphischer Einordnung basierend auf LIMBERG et al. (2007), STD (2016) und LIMBERG & THIERBACH (2002);  
 GWL – Grundwasserleiter; GWGL – Grundwassergeringleiter

Tab. 1: Extract from the schematic structure of the Quaternary and Tertiary with hydrostratigraphic classification based on LIMBERG et al. (2007), STD (2016) and LIMBERG & THIERBACH (2002); GWL – aquifer; GWGL – aquiclude

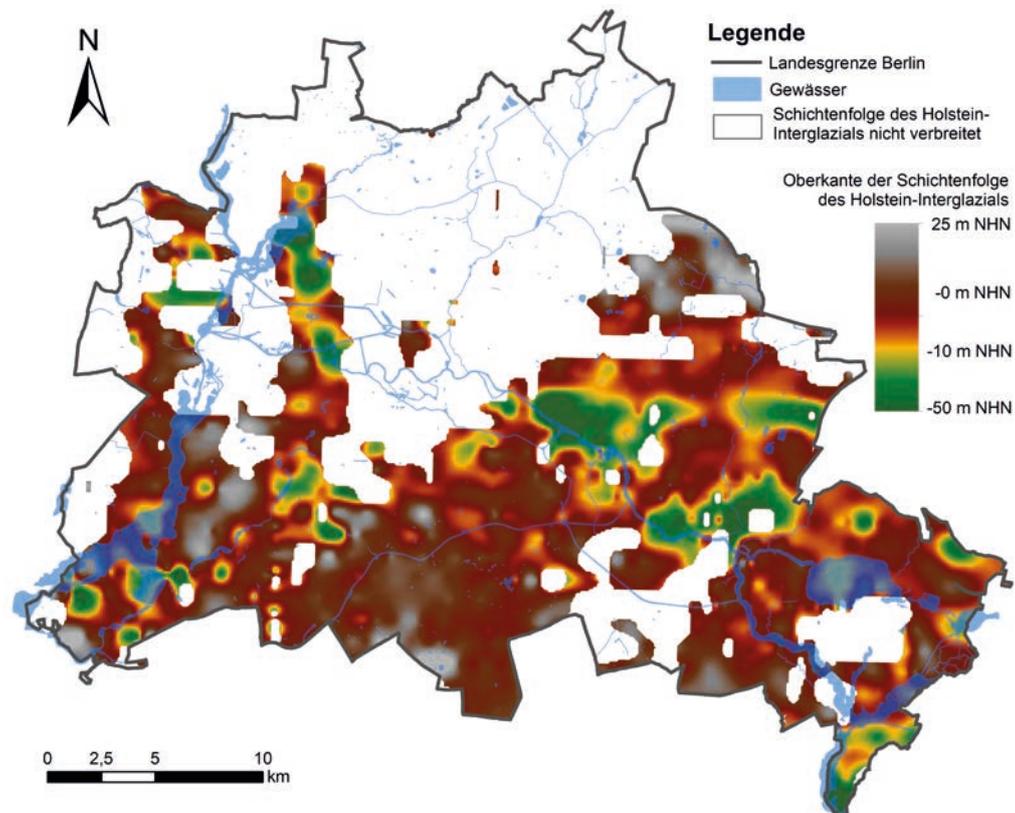


Abb. 3: Lage der Oberkante und Verbreitung der Schichtfolge des Holstein-Interglazials; generiert aus Daten der LANDESGEOLOGIE BERLIN (2020)

Fig. 3: Position of the upper edge and distribution of the Holstein interglacial strata generated from LANDESGEOLOGIE BERLIN (2020) data

Schichtfolgen des Holstein-Interglazials hauptsächlich im Süden verbreitet. Sie nehmen teilweise eine Barrierefunktion ein, indem sie den Hauptgrundwasserleiter (GWL 2) vor der Intrusion von Wässern aus den im Liegenden folgenden GWL 3 und GWL 4 schützen (LIMBERG & THIERBACH 2002).

Im Liegenden der Schichtfolgen des Holstein-Interglazials folgen hauptsächlich grundwasserleitende Ablagerungen des älteren Pleistozäns, der Elster Kaltzeit mit Schmelzwassersanden, sowie grundwasserhemmende Geschiebelehm-/mergel, Beckentone und -schluffe. Im Liegenden folgen die Ablagerungen des Miozäns (Sande, Schluffe und Braunkohlen) und des Oberoligozäns (schluffige Feinsande). Sie stellen die Grundwasserleiter GWL 3 und GWL 4 dar. Die Unterkante der elsterzeitlichen Ablagerungen stellt im Raum Berlin gleichzeitig die Grenze zwischen Tertiär und Quartär (Quartärbasis) dar.

Von besonderer Bedeutung für die Salzwasserdynamik ist der im Liegenden der oberoligozänen Schichten anzutreffende Rupelton. Für die hydrogeologische Situation stellt der Rupelton in der Regel die entscheidende Barriere zwischen dem nutzbaren Süßwasserstockwerk (GWL 1 bis GWL 4)

und dem Salzwasserstockwerk (GWL 5) dar (vgl. LIMBERG & THIERBACH 2002). Der Rupelton ist ein in ganz Norddeutschland ausgebildetes vollmarines Sediment aus dem Unteroligozän, dessen Oberkante aufgrund der Salztektonik in Berlin in unterschiedlichen Höhen anzutreffen ist. In der Regel liegt sie in einer Tiefe von  $-200$  bis  $-50$  m NHN, im Nordwesten taucht sie bis auf  $-500$  m NHN ab, im Norden dagegen liegt sie höher und bei Lübars tritt sie sogar an die Oberfläche (siehe Abb. 5). Dort, wo diese Barriere aufgrund der Ausräumung durch Elster-kaltzeitliche Exarations- und subglaziale Erosionsrinnen nicht mehr vorhanden ist, besteht bei entsprechenden Druckverhältnissen, die Möglichkeit des Aufstiegs von hochmineralisierten Tiefenwässern aus dem Salzwasserstockwerk. Die Ausräumungstiefe dieser Elster-kaltzeitlichen Rinnen kann mehr als 100 m erreichen (vgl. Abb. 4). Durch Grundwasserförderung im näheren Umfeld von Fehlstellen im Rupelton (Rupeltonfenster) wird dieser Effekt verstärkt (LIMBERG et al. 2016). In Bereichen, in denen er nicht erodiert wurde, erreicht er Mächtigkeiten zwischen 70 und 100 m. In LIMBERG et al. (2016, S. 11) ist die Lage und Ausbreitung bekannter Rupeltonfenster in Berlin beschrieben. Die Lage der fünf bisher bekannten Fenster ist in Abb. 5 zu erkennen.

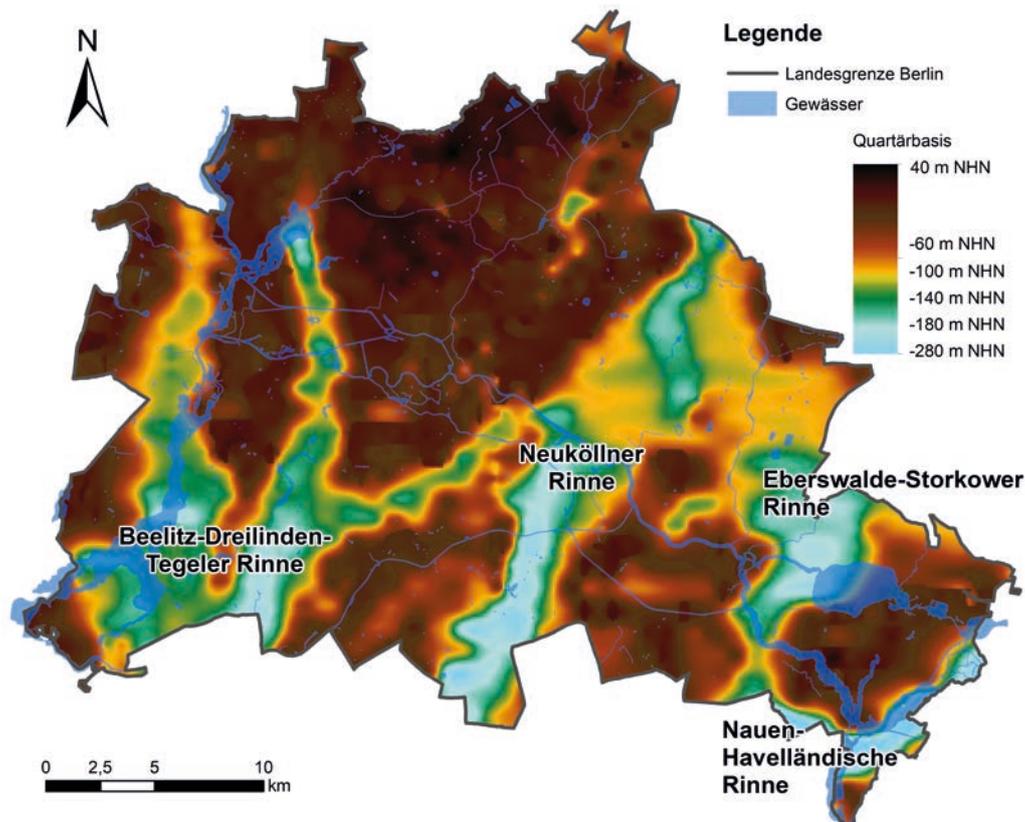


Abb. 4: Lage der Grenzfläche Tertiär/Quartär (Quartärbasis); Datengrundlage bereitgestellt von U. Hörmann (Landesgeologie Berlin, Bearbeitungsstand: 30.11.2017; Benennung der Rinnen: STACKEBRANDT et al. (2010) und WASCINSKI (1993)

Fig. 4: Position of the tertiary / quaternary interface (quaternary base); Data basis provided by U. Hörmann (Landesgeologie Berlin, processing status: November 30<sup>th</sup>, 2017); designation of erosion channels: STACKEBRANDT et al. (2010) and WASCINSKI (1993)

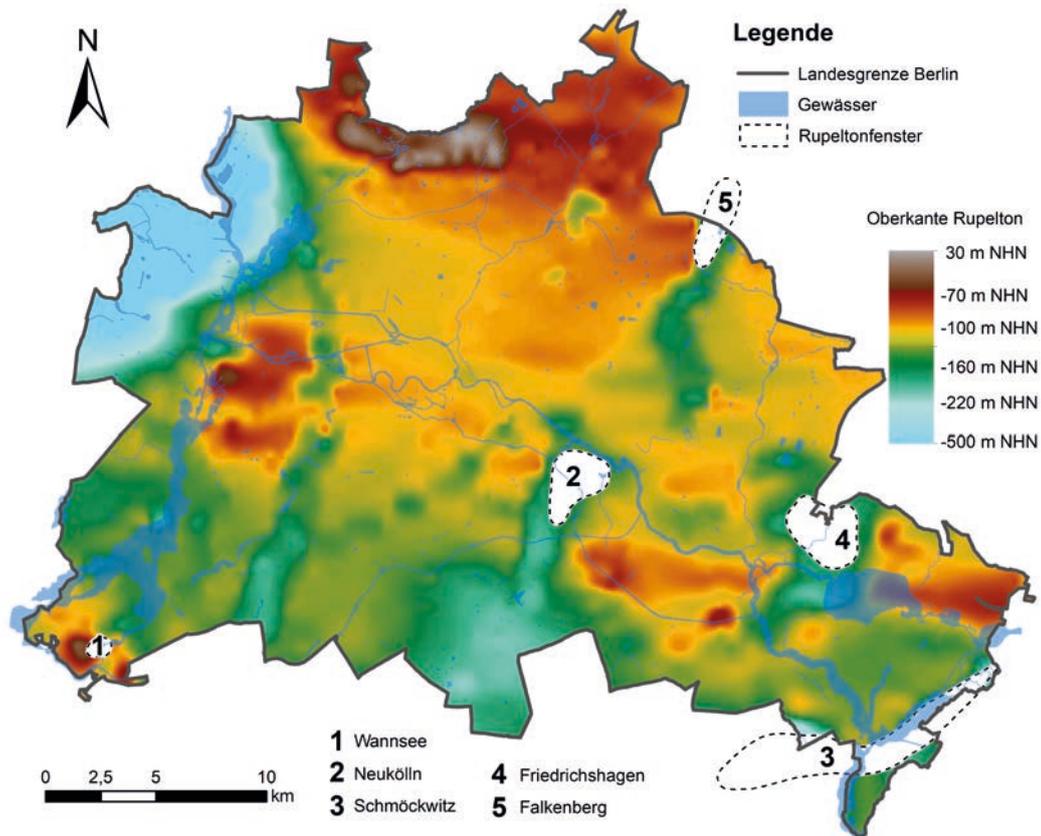


Abb. 5: Oberkante des Rupeltons sowie Lage und Benennung der Rupeltonfenster generiert aus LANDESGEOLOGIE BERLIN (2020) und LIMBERG (2016)

Fig. 5: Upper edge of the Rupelian clay as well as position and name of Rupelian clay windows generated from LANDESGEOLOGIE BERLIN (2020) and LIMBERG (2016)

### Definition der Süß-/Salzwassergrenze

Geogen versalzene Grundwässer weisen in der Regel hohe Konzentrationen der Ionen  $\text{Na}^+$  und  $\text{Cl}^-$  auf. Daher eignet sich eine NaCl-Konzentration von mehr als 1000 mg/l (vgl. Tab. 2) als Indikator für eine geogene Grundwasserversalzung. Entsprechend der molaren Massenverteilung entspricht dies einer Chlorid-Konzentration von 607 mg/l (GLANDER et al. 1973). Neben der Verwendung der NaCl-Konzentration als Indikator für die Bestimmung der Süß-/

Salzwassergrenze eignet sich auch die elektrische Leitfähigkeit als Parameter, welcher z. B. direkt über eine Leitfähigkeitsmesssonde an einem Kabellichtlot gemessen wird oder indirekt über eine geophysikalische Bohrlochmessung als Porenfluidleitfähigkeit berechnet werden kann. Die Verhältnisbeziehung des spezifischen elektrischen Widerstandes zur Ionenkonzentration einer reinen NaCl-Lösung ist in FRICKE & SCHÖN (1999) dargestellt. Im Falle der Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit aus bohrlochgeophysikalischen oder oberflächengeophysikalischen Messungen,

Methodik	Bezug	Parameter	Grenze
direkt gemessen	Grundwasser im Filterbereich	spezifische elektrische Leitfähigkeit	$\geq 2000 \mu\text{S/cm}$
		NaCl-Konzentration	$\geq 1000 \text{ mg/l}$
		Cl-Konzentration	$\geq 607 \text{ mg/l}$
	anstehendes Gebirge (Gestein + Porenfluid) im sandigen Aquifer	spezifischer elektrischer Widerstand	$\leq 20 \Omega\text{m}$
berechnet	Porenfluid im sandigen Aquifer	spezifische elektrische Leitfähigkeit	$\geq 2000 \mu\text{S/cm}$

Tab. 2: Verwendete Grenzen der geogenen Grundwasserversalzung (Süß-/Salzwassergrenze)

Tab. 2: Applied limits of geogenic groundwater salinization (freshwater/saltwater boundary)

z. B. mit Methoden der Geoelektrik und der Elektromagnetik, werden Gebirgsleitfähigkeiten (elektrischer Widerstand von Gestein plus Porenfluid) gemessen. In einem sandigen Aquifer entspricht eine Gebirgsleitfähigkeit von  $20 \Omega\text{m}$  einer NaCl-Äquivalentkonzentration von  $1000 \text{ mg/l}$  (GUTIERREZ 2015). Jedes Verfahren hat seine Vor- und Nachteile. In hydrochemischen Analysen werden in der Regel auch die Konzentrationen der Hauptionen  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  und  $\text{HCO}_3^-$  bestimmt, welche sich gut dazu eignen, mögliche andere Versalzungsursachen in Betracht zu ziehen bzw. auszuschließen. Die geogene Grundwasserversalzung ist deutlich von anthropogenen Einflussfaktoren zu differenzieren, die in Berlin in oberflächennahen Grundwässern beispielsweise für eine Erhöhung der Gehalte an Natrium, Chlorid sowie Calcium und Sulfat von Bedeutung sein können. Bedeutende anthropogene Ursachen sind z. B. langfristiger Salzeintrag (z. B. durch flächendeckende Bauschutt- und Trümmerverkipfung infolge des Zweiten Weltkrieges oder durch Streusalz) oder die fast 100-jährige Abwasserverrieselung an der Peripherie von Berlin. Um das Auftreten einer geogenen Grundwasserversalzung charakterisieren zu können, wurde die Lage der Süß-/Salzwassergrenze (LSSG) ermittelt.

## Datenherkunft und Datenbearbeitung

### Untersuchungen des VEB Hydrogeologie und des Zentralen Geologischen Instituts

In den Dokumenten waren sowohl Informationen aus geophysikalischen Messungen (BURDE & VOLKMER 1977, KABOTH et al. 1988) als auch hydrochemische Analysedaten vorhanden. Geoelektrische Sondierungen wurden im Südosten Berlins, südlich des Müggelsees, vorgenommen, während hydrochemische Datensätze sowohl aus Berlin Lichtenberg (BOSSE et al. 1989), Buch (HAGEN & KRÜGER 1975) und Mitte (KNIESEL 1985) dokumentiert sind. Darüber hinaus wurden auch Daten aus Sonderprogrammen, z. B. zur Erkundung tiefer Grundwasserleiter (GRUS et al. 1983) einbezogen. Gesondert von den Untersuchungen des VEB Hydrogeologie Nordhausen wurde vom Zentralen Geologischen Institut (ZGI) der Nordosten (ZIESCHANG & REISS 1978) und der Südosten Berlins (ZIESCHANG & JAHNKE 1978) untersucht, auch diese Daten wurden verwendet.

Um für den gesamten Raum Berlin Aussagen treffen zu können, wurden die zur Verfügung stehenden Daten aus dem Osten und Südosten Berlins digitalisiert. Bei der Datenaufbereitung wurden zunächst die Analysedaten den entsprechenden Messstellennummern der Landesgeologie zugeordnet. Anschließend wurden spezifische elektrische

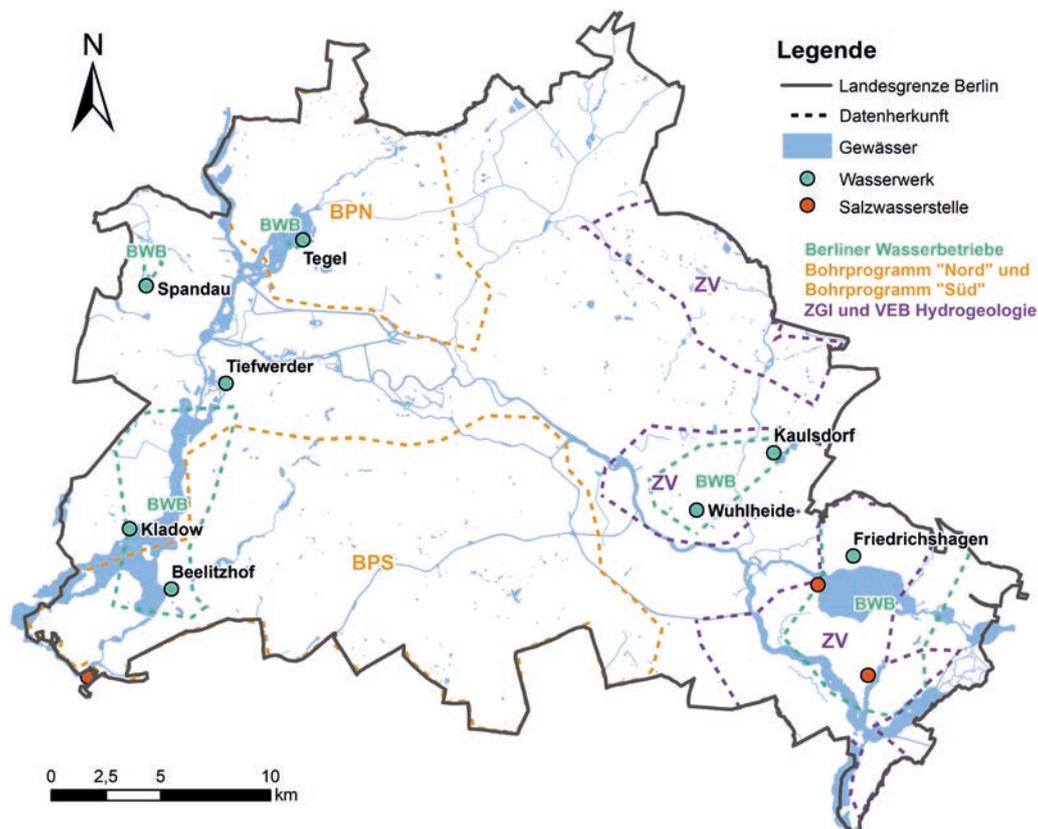


Abb. 6: Abdeckungsbereiche ausgewählter Messprogramme und Lage aktiver Wasserwerke

Fig. 6: Areal coverage of selected investigation programs and location of active waterworks

Leitfähigkeiten für 25 °C berechnet. Da aktuell gemessene Werte üblicherweise auf 25 °C bezogen werden, wurden lediglich die Werte mit diesem Bezug verwendet. Darüber hinaus wurden die Nachweisgrenzen überprüft und dort, wo es erforderlich war einige Formatierungen geändert, sodass die Daten für die Auswertung in der geologischen Datenbanksoftware GeODin, der Programmierplattform RStudio, basierend auf der Programmiersprache R, sowie der Geoinformationssoftware ArcGIS verwendet werden konnten. Bevor die Daten verwendet wurden, fand außerdem eine Prüfung auf Übereinstimmung der Einheiten und gegebenenfalls eine Umrechnung statt, um die Vergleichbarkeit mit den anderen zur Verfügung stehenden Daten gewährleisten zu können.

### **Bohrprogramm Nord und Bohrprogramm Süd**

Über die bisher genannten Datengrundlagen hinaus wurde auf die Daten des Bohrprogramms Nord (BPN) und des Bohrprogramms Süd (BPS) zurückgegriffen. Für den Westen Berlins bestand nicht zuletzt aufgrund seiner Insellage bis 1989 das Problem eines unausgeglichenen Grundwasserhaushalts. Seit Ende der 60er Jahre wurde teilweise über lange Zeit bedeutend mehr Grundwasser entnommen, als auf natürlichem Wege neugebildet werden konnte. Zur Lösung dieses Defizits gab es bereits zu jener Zeit Anlagen zur künstlichen Anreicherung des Grundwassers mit Oberflächenwasser. Ziel der Bohrprogramme war daher die Erkundung des Berliner Untergrundes bis zum Rupelton im Hinblick auf Entlastungsmöglichkeiten, um damit Lösungen für das Grundwasserhaushaltsdefizit zu liefern (VOGT 1988).

Das Bohrprogramm Nord wurde in den Jahren 1972 bis 1975 in den Bezirken Reinickendorf und Wedding durchgeführt. Dabei wurden insgesamt 21.000 Bohrmeter abgeteuft und 197 Messstellen errichtet (vgl. Tab. 3). Im Bohrprogramm Süd, das sich über die südlichen Bezirke Berlins, Wilmersdorf, Schöneberg, Kreuzberg, Neukölln, Tempelhof und Steglitz erstreckte, wurden von 1977 bis 1988 weitere 66.000 Bohrmeter an insgesamt 254 Messstellen abgeteuft. Alle Bohrungen beider Bohrprogramme wurden auch geophysikalisch vermessen. Ab 1990 war geplant, das Bohrprogramm „Mitte“ durchzuführen (VOGT 1988), welches allerdings aufgrund der Deutschen Einheit im Jahre 1990 nicht mehr stattfand. Die meisten der Messstellen aus den beiden Bohrprogrammen werden bis heute genutzt. Die Lage der Untersuchungsgebiete der beiden Bohrprogramme ist in Abb. 6 dargestellt.

Um die Süß-/Salzwassergrenze möglichst exakt bestimmen zu können, wurde der Bestand an bohrlochgeophysikalischen Messungen aufbereitet. So konnten die Ergebnisse der Bohrlochgeophysik aus den Bohrprogrammen Nord und Süd verwendet werden. Im Rahmen der Bohrprogramme im Westen Berlins wurden in der Regel noch in den offenen Bohrungen elektrische Widerstände, das Eigenpotential und die Gammastrahlung (Gamma-ray) über die gesamte Tiefe

gemessen. An den Messstellen des Bohrprogramms Nord wurde bis 1996 nachträglich mittels bohrlochgeophysikalischer Methoden eine Ausbauekontrolle vorgenommen, bei der in der Regel bereits die Porenwassermineralisation im umgebenden Gebirge bestimmt wurde. Die Daten wurden analog zu den Daten des VEB Hydrogeologie und des ZGI aufbereitet.

### **Dokumentierte Salzwasseraustritte**

In der Vergangenheit wurden für Berlin und Brandenburg mehrfach Salzwasserstellen durch Salzwasseraustritte oder durch Salzwasserflora dokumentiert. Drei der in Berlin oder in unmittelbarer Nähe zur Landesgrenze befindliche Salzwasserstellen aus STACKEBRANDT et al. (2010) wurden berücksichtigt (vgl. Abb. 6). Für diese Salzwasserstellen wurde als Süß-/Salzwassergrenze die Geländeoberkante eingesetzt.

### **Messungen der Berliner Landesgeologie**

#### **Grundwassergütemessnetz**

Im Rahmen des Grundwassergütemessnetzes der Berliner Landesgeologie (Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz) werden seit 1998 halbjährig, vorrangig im Hauptgrundwasserleiter (GWL 2) verfilterte, Grundwassermessstellen beprobt. Die Analysen enthalten unter anderem Angaben zur Konzentration an  $\text{Na}^+$  und  $\text{Cl}^-$  sowie zur spezifischen elektrischen Leitfähigkeit. Aktuell sind 210 Messstellen im Grundwassergütemessnetz enthalten.

#### **Datenbank der Berliner Landesgeologie**

In der Datenbank der Berliner Landesgeologie sind Messdaten zu Konzentration an  $\text{Na}^+$  und  $\text{Cl}^-$  und zur spezifischen elektrischen Leitfähigkeit vorhanden, die teilweise aus unregelmäßigen und teilweise aus Messungen in regelmäßigen Abständen stammen. Viele der Vor-Ort-Messungen enthalten vorrangig Informationen zur elektrischen Leitfähigkeit. In den Labor-Datensätzen sind zusätzlich auch Ionenanalysen vorhanden. Die verwendeten Leitfähigkeiten stammen zumeist aus den Laboranalysen. Waren dazu keine Daten vorhanden, wurden die Daten aus der Vor-Ort-Messung herangezogen.

Der Bestand an Laboranalysedaten für tiefe Messstellen war auf wenige Einzelmessungen beschränkt. Der Grund dafür ist, dass für eine Vielzahl von Anfragen und Problemstellungen mit Grundwasserbezug die Beschaffenheit von oberflächennahem Grundwasser von vorrangiger Bedeutung ist. Letztlich war es aufgrund dieser Ausgangssituation erforderlich, auf ältere Datenbestände zurückzugreifen.

## Salinitätsprogramm

Ab 2013 wurden von der Berliner Landesgeologie und den Berliner Wasserbetrieben im Rahmen des Salinitätsprogramms jährlich an ausgewählten Messstellen Messungen vorgenommen und teilweise wiederholt, um die zeitliche Entwicklung der Gesamtmineralisation abzubilden. Genutzt wird dabei insbesondere ein Induktionslog. Mittels entsprechender Gleichungen wird damit in sandigen Partien der Grundwasserleiter die Porenwassermineralisation als NaCl-Äquivalentkonzentration bestimmt. Um die Bohrlochgeophysikergenergebnisse der Landesgeologie mit den Daten aus anderen Quellen (z. B. BWB) vergleichen zu können, wurden die im Auftrag der Landesgeologie berechneten NaCl-Äquivalentkonzentrationen jeweils mit dem Faktor 1:2 (mg/l:µS/cm) in spezifische elektrische Leitfähigkeiten umgerechnet.

Sowohl für die Anwendbarkeit des Induktionslogs als auch des Widerstandslogs müssen bestimmte Kriterien bezogen auf das Ausbaumaterial der Messstellenverrohrung und dem Bohrl Lochdurchmesser erfüllt sein. Da insbesondere in den östlich gelegenen Bezirken Berlins oft Metall im Ausbau verwendet wurde, sind dort die für die Bestimmung der Porenwassermineralisation besonders wichtigen Induktions- und Widerstandsmessungen oft nicht anwendbar. Die Gesamtzahl der Untersuchungen, die im Rahmen des Salinitätsprogramms durch die Berliner Landesgeologie vorgenommen wurden, liegt aktuell bei 60 an 35 Messstellen.

## Leitfähigkeitsmessungen im Rahmen des Temperaturmessprogramms

2015 wurden von der Berliner Landesgeologie an 106 Messstellen Temperaturdaten erfasst. Der Hintergrund des Temperaturmessprogramms war die Absicht, mit Hilfe der Daten Temperaturkarten für die Tiefen 20 m, 40 m, 60 m, 80 m und 100 m unter Geländeoberkante (GOK) zu erstellen (LIMBERG et al. 2016). Neben der Grundwassertemperatur wurde dabei bis zu einer maximalen Tiefe von 150 m und im Abstand von 20 m zusätzlich die spezifische elektrische Leitfähigkeit innerhalb der Messstelle aufgezeichnet. Durch die Tiefeneinschränkung lassen sich für Messstellen mit Tiefen von mehr als 150 m keine Aussage über die spezifische elektrische Leitfähigkeit im Filterbereich treffen. Anhand durchgeführter Messungen wurde deutlich, dass die Leitfähigkeiten im Filterbereich teilweise stark von den gemessenen Leitfähigkeiten oberhalb des Filterbereichs abweichen (SCHRAMM 2018). Die Messstellen der Landesgeologie erreichen eine Tiefe von bis zu 380 m. Wurden entsprechend des beschriebenen Falls erhöhte spezifische elektrische Leitfähigkeiten an einer tiefen Messstelle festgestellt, lässt dies die Vermutung zu, dass auch im Filterbereich mit einer erhöhten Mineralisation zu rechnen ist. Diese Messstellen wurden teilweise im Rahmen der hier vorliegenden Arbeit erneut vermessen.

Die Daten aus den Messungen von 2015 wurden jeweils darauf geprüft, ob Messungen direkt aus dem Filterbereich der jeweiligen Messstellen vorhanden und daher für die weitere Auswertung verwendbar sind. Als Toleranzwert wurde ein Abstand von einem Meter zum Filterbereich noch als genügend präzise angenommen. Daraus folgte, dass sich lediglich 28 % der Leitfähigkeitsdaten verwenden ließen. 22 der 105 Datensätze beziehen sich auf Messstellen mit einem Filterbereich tiefer –150 m NHN.

## Datenbestand der Berliner Wasserbetriebe

Die Berliner Wasserbetriebe (BWB) verfügen über einen umfangreichen Datenbestand an hydrochemischen Analysen. Die Nutzung der Daten der BWB im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde auf Messstellen, die tiefer als –50 m NHN reichen, beschränkt. Im Rahmen des Ressourcenmanagements der Berliner Wasserbetriebe werden ebenfalls bohrlochgeophysikalische Untersuchungen beauftragt, anhand derer die spezifische elektrische Leitfähigkeit des Porenfluids berechnet wird.

Insgesamt standen für die Auswertung aus dem Datenbestand der Berliner Wasserbetriebe 5.775 Messdaten zur elektrischen Leitfähigkeit im Filterbereich und 5.402 hydrochemische Analysen zur Verfügung (vgl. Tab. 3). Bei den Datensätzen mussten vereinzelt Einheiten umgerechnet werden. Die von den Wasserbetrieben verwalteten Daten beziehen sich in der Regel auf Förderbrunnen sowie BWB-eigene Grundwassermessstellen im Einzugsgebiet der Wasserwerksgalerien. Insofern für die BWB-Messstellen bereits eigene Messstellennummern der Landesgeologie vergeben sind, wurden im Sinne einer besseren Verwertbarkeit (z. B. für Zeitreihen) einheitlich die Messstellennummern der Landesgeologie verwendet und die Daten untereinander abgeglichen, um Dopplungen auszuschließen.

## Messprogramm elektrische Leitfähigkeit

Zur weiteren Verdichtung der Daten sind im Zeitraum von 2017 bis 2018 mehr als 300 Leitfähigkeitsmessungen durchgeführt worden. Dafür wurden Messstellen innerhalb Berlins gezielt ausgewählt. An 45 Messstellen wurden zusätzlich Tiefenprofile erstellt. Elektrische Leitfähigkeit und Temperatur wurden hier für die gesamte Messstellentiefe im Abstand von einem Meter aufgenommen. Im Anschluss wurde jeweils der Durchschnitt aus dem Filterbereich der Messstelle berechnet und in dieser Form in die nachfolgende Interpretation einbezogen. Die gemessenen Leitfähigkeiten wurden anschließend auf 25 °C korrigiert (Details siehe SCHRAMM 2018).

Im Bereich der Galerien des WW Beelitzhof (Lage siehe Abb. 6) wurden teilweise Versalzungserscheinungen über dem Holstein-Interglazial angetroffen. Allerdings war in diesem Bereich zunächst nicht eindeutig belegbar, ob die Versalzung dort tatsächlich geogenen Ursprungs ist. Zur

Datenherkunft	Grundwasser im Filterbereich		Bohrlochgeophysik im sandigen Aquifer	Oberfl. Geoph.	
	NaCl-Konz.	Leitfähigkeit		Widerstand	
	Analytik und/oder Vor-Ort-Messung	berechnete Porenfluid-Leitfähigkeit	Widerstandslog	Sondierungen	
Senat	1.920 (10.268)	2.130 (11.520)	35 (60)	-	-
BWB	479 (5.402)	499 (5.775)	13 (37)	-	-
VEB HGN & ZGI	688 (2.538)	780 (2.443)	29 (42)	1	103
BPN & BPS	451 (451)	451 (451)	82 (82)	53	-
Temperaturmessnetz	-	29 (103*)	-	-	-
Salzwasseraustritte	3**	-	-	-	-
eigene Messungen	-	294 (393)	-	-	3
<b>Insgesamt</b>	<b>1.987 (18.662)</b>	<b>2.197 (20.611)</b>	<b>159 (221)</b>	<b>54</b>	<b>106</b>
verwendet	<b>186</b>		<b>138</b>	<b>54</b>	<b>106</b>

Tab. 3: Ausgewertete Daten; Standorte (Einzelmessungen), \* - verwendbar gegenüber insgesamt verfügbar, \*\* - genaue NaCl-Konzentration nicht bekannt

Tab. 3: Used data; locations (single measurements), \* - utilizable vs. available, \*\* - exact NaCl-concentration unknown

Detektion der Lage der Süß-/Salzwassergrenze relativ zur Lage der Schichtenfolge des Holstein-Interglazials wurden daher linienhafte oberflächengeophysikalische Untersuchungen mittels geoelektrischer Widerstandstomographie und Elektromagnetik durchgeführt. Die Ergebnisse der Untersuchungen deuten darauf hin, dass die erhöhten NaCl-Konzentrationen eher auf anthropogene Ursachen zurückzuführen sind (z. B. Streusalzeinsatz) (SCHRAMM 2018).

Für die Auswertung im Rahmen der Arbeit stehen nach der Einbeziehung von Altdaten insgesamt mehr als 18.000 hydrochemische Analysen zur Verfügung (vgl. Tab. 3).

### Nutzung geologischer Profilschnitte der Landesgeologie

Als Basis für die Verknüpfung der geologischen Schnitte mit den hydrochemischen Informationen wurden zunächst die geologischen Schnitte der Landesgeologie verwendet, die anhand vorhandener Bohrdaten erstellt wurden. Für den gesamten Raum Berlin stehen im Abstand von einem Kilometer Ost-West-Schnitte und im Abstand von fünf Kilometern Nord-Süd-Schnitte zur Verfügung. Die geologischen Profilschnitte wurden mit Hilfe der Programmiersprache R mit der NaCl-Konzentration und den Daten zur elektrischen Leitfähigkeit verknüpft. Die Anbindung der hydrochemischen Kennwerte an die geologischen Profilschnitte wurde für den gesamten Raum Berlin vorgenommen. In den Profilschnitten wurden sowohl die Messungen aus Messstellen bzw. Brunnen im Filterbereich berücksichtigt als auch die Porenwassermineralisationen aus

den bohrlochgeophysikalischen Messungen. Insgesamt wurden diese Berechnungen für 43 geologische Schnitte erstellt.

Für die Beurteilung der Lage der Süß-/Salzwassergrenze wurden alle erstellten Profilschnitte einzeln geprüft. Lagen mehrere Parameter zur Beurteilung der Süß-/Salzwassergrenze an einer Grundwassermessstelle vor und war anhand eines Parameters die Süß-/Salzwassergrenze überschritten, wurden alle verfügbaren Parameter auf Konsistenz geprüft. Die Ergebnisse wurden gemeinsam in einer Tabelle zusammengeführt. Zur Ermittlung der exakten Lage der Süß-/Salzwassergrenze an Lokationen mit bohrlochgeophysikalischen Daten wurden Messstellensteckbriefe genutzt.

### Messstellensteckbriefe (Komplexdiagrammdarstellungen)

Für alle Messstellen im Raum Berlin mit Informationen zur Porenwassermineralisation aus Geophysikmessungen über die Tiefe, wurden Komplexdiagrammdarstellungen der jeweiligen Messstellen erstellt. Dabei wurden diverse Informationen einander in grafischer Form gegenübergestellt, aus der Bohrlochgeophysik die elektrische Gebirgsleitfähigkeit über die Tiefe, die berechneten Porenwassermineralisationen und die Süß-/Salzwassergrenze bei 2000 µS/cm sowie der elektrische Gebirgswiderstands und die Süß-/Salzwassergrenze bei 20 Ωm. Im Filterbereich wurde die zuletzt gemessene elektrische Leitfähigkeit aufgetragen und parallel die Entwicklung der Leitfähigkeit über die Zeit sowie ein Balkendiagramm der

chemischen Zusammensetzung des Grundwassers (Konzentrationen von  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Fe}_{\text{ges}}$ ,  $\text{Br}^-$ ) dargestellt. Insgesamt wurden für 241 Messstellen Komplexdiagrammdarstellungen erstellt. Die automatisierte Erstellung der Komplexdarstellung und damit zusammenhängende Vorberechnungen wurden in R vorgenommen.

### Kartenerstellung

Zur Darstellung der Lage der Süß-/Salzwassergrenze sind vier Karten mit jeweils verschiedenen geographischen und geologischen Bezügen dargestellt: Normalhöhennull (NHN), Geländeoberkante (GOK), Höhenniveau der Rupeltonoberkante und Oberkante des Holstein-Interglazials. Die Berechnungen der Süß-/Salzwassergrenze wurden anhand der Tiefenangaben aus den Messpunkten mit „Ordinary Kriging“ und unter Zuhilfenahme eines exponentiellen Variogramm-Modells in R durchgeführt.

Da wo es erforderlich war, um natürliche Ausbreitungsprozesse nachzubilden, wurden, insbesondere im Bereich des Urstromtals, Hilfspunkte gesetzt. Bei ca. einem Drittel der Messpunkte lagen lediglich Daten aus dem Filterbereich vor. Dort wo nur hydrochemische Analysen aus dem Filterbereich vorhanden waren, wurde, falls die Messstelle Salzwasser aufwies, die Filteroberkante als Süß-/Salzwassergrenze

eingesetzt. Dies kann allerdings dazu führen, dass die Süß-/Salzwassergrenze insbesondere dort, wo sie nur anhand der Messungen aus dem Filterbereich von Messstellen angetroffen bzw. überschritten wurde, tatsächlich höher liegt als in den Karten angegeben. Auf eine Extrapolation für den Fall, dass gemessene Leitfähigkeiten höher als  $2000 \mu\text{S}/\text{cm}$  waren, wurde bewusst verzichtet, um ausschließlich Bereiche mit nachgewiesener Versalzung darzustellen.

Gemäß dem Fall, dass die Versalzungsgrenze an einem Messpunkt über dem Rupelton nicht angetroffen wurde, wurde die Rupeltonunterkante als Tiefe der Versalzungsgrenze eingesetzt. Die Einordnung der Lage der Süß-/Salzwassergrenze bezogen auf die Geologie erfolgte entsprechend der in Abb. 5 und Abb. 3 dargestellten Daten. Für Salzwasser-  
austritte wurde die Geländehöhe eingesetzt. Falls zwei oder mehr Messstellen in unmittelbarer Nähe zueinander liegen (ca. 50 m) wurde nach Prüfung jene Messstelle als Datenpunkt erhalten, bei der die Versalzungsgrenze höher liegt. Zur räumlichen Zuordnung der Lage der Süß-/Salzwassergrenze wurden den Karten jeweils die Gewässerkonturen hinterlegt.

Anhand der Karte der Lage der Süß-/Salzwassergrenze in Abb. 7 werden fünf Bereiche mit Versalzungserscheinungen oberhalb von  $-100 \text{ m NHN}$  deutlich. Die Hochlage im Norden ist lediglich begründet durch eine Hochlage des Rupeltons (vgl. Abb. 5).

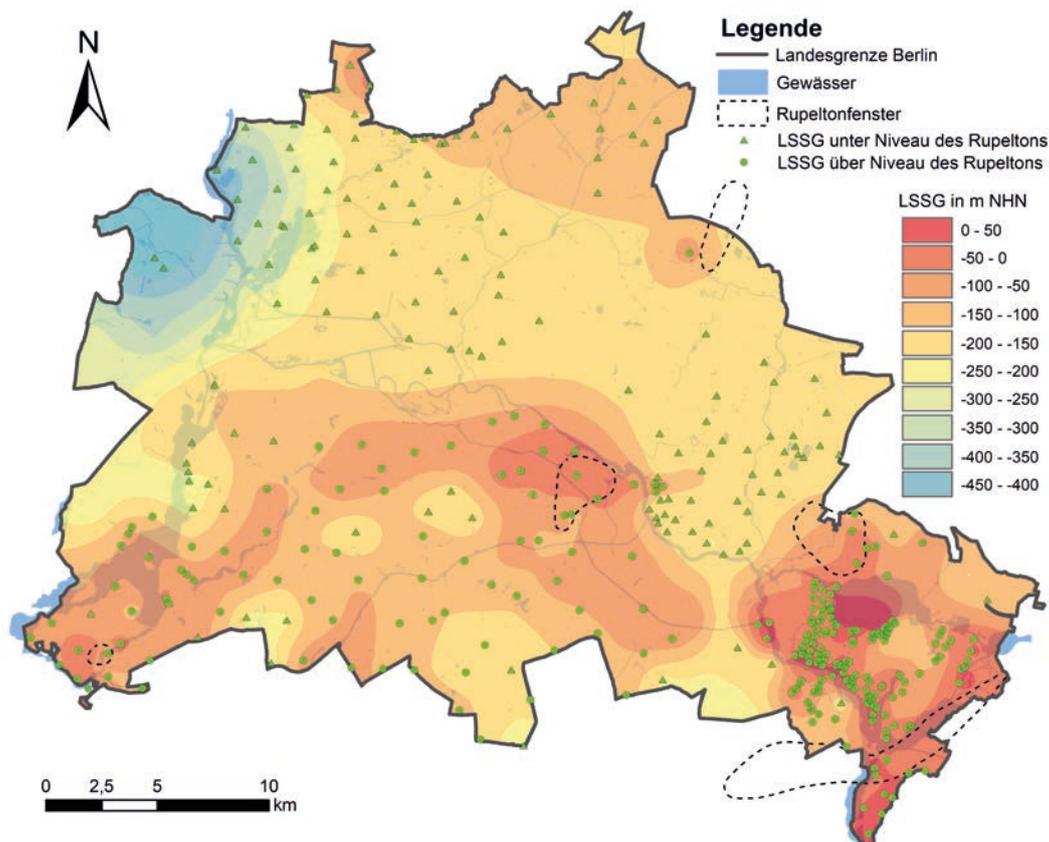


Abb. 7: Lage der Süß-/Salzwassergrenze (LSSG) relativ zu Normalhöhennull (NHN)

Fig. 7: Position of the freshwater/saltwater boundary (LSSG) above sea level (NHN)

Der Südosten Berlins wurde in der Vergangenheit sehr detailliert in Hinblick auf geogene Versalzungserscheinungen untersucht, wodurch die Datenpunktdichte, vorrangig aus geoelektrischen Punktsondierungen, sehr hoch ist. In diesem Bereich (südlich von Müggelheim) wurde außerdem eine lokale Salzwasseranomalie an der Erdoberfläche festgestellt. In der Umgebung des Wasserwerks Friedrichshagen liegt die Versalzungsgrenze tiefer und teilweise wurde dort über dem Rupelton keine Versalzung angetroffen (vgl. Abb. 9). Südwestlich, südlich und westlich des Müggelsees und nahe der südöstlichen Landesgrenze zu Brandenburg liegt die Versalzungsgrenze über  $-50$  m NHN. Teilweise wurden dort in unmittelbarer Nähe zum Wiesengraben und östlich von Köpenick sogar Versalzungen festgestellt, die höher als  $0$  m NHN liegen. Dies trifft auch für einen Bereich südwestlich des Müggelsees sowie einen Bereich bei Rauchfangswerder an der Berliner Landesgrenze zu.

Ein weiterer Bereich mit einer erhöht liegenden Versalzungsgrenze befindet sich rund um das Neuköllner Fenster im Zentrum Berlins. In diesem Bereich reicht die Versalzung großflächig bis oberhalb von  $-100$  m NHN und in unmittelbarer Nähe zum Neuköllner Fenster bis über  $-50$  m NHN.

Der letzte große Bereich mit flächendeckender Versalzung, teilweise bis auf über  $-50$  m NHN, liegt im Südwesten und zieht sich in Richtung Stadtzentrum. Am südwestlichen

Ende ist der Anstieg der Versalzungshöhe in unmittelbarer Nähe zum Fenster Wannsee anzutreffen.

Im Nordwesten Berlins taucht die Süß-/Salzwassergrenze deutlich ab, da der Rupelton dort tiefer liegt als im übrigen Stadtgebiet. Generell wird deutlich, dass Versalzungserscheinungen insbesondere in Bereichen nahe der Rupeltonfenster auftreten, eine Ausnahme stellt das Fenster im Nordosten bei Falkenberg dar.

Die Darstellung der Lage der Süß-/Salzwassergrenze mit dem Bezug zur Geländeoberkante (Abb. 8) weist zwangsläufig große Ähnlichkeit zu Abb. 7 auf. Beide Darstellungen unterscheiden sich im Gebiet um Ruhleben, östlich der Havel, und im Bereich des Düppeler Forsts, südlich der Havel, aufgrund der deutlichen Erhöhung des Geländes. Des Weiteren sind die Bereiche des Urstromtals in denen die Lage der Süß-/Salzwassergrenze flacher als  $150$  m unter GOK liegt größer als die vergleichbaren Bereiche  $-150$  bis  $-100$  m NHN (vgl. Abb. 8).

Anhand von Abb. 9 werden drei große Bereiche mit Versalzungserscheinungen oberhalb des Höhengniveaus des Rupeltons deutlich: a) Bereich Südost (Fenster Friedrichshagen und Fenster Schmöckwitz) mit Versalzungen teilweise bis an die Erdoberfläche b) Bereich Südwest (Fenster Wannsee), und c) Bereich Zentrum ausstrahlend nach

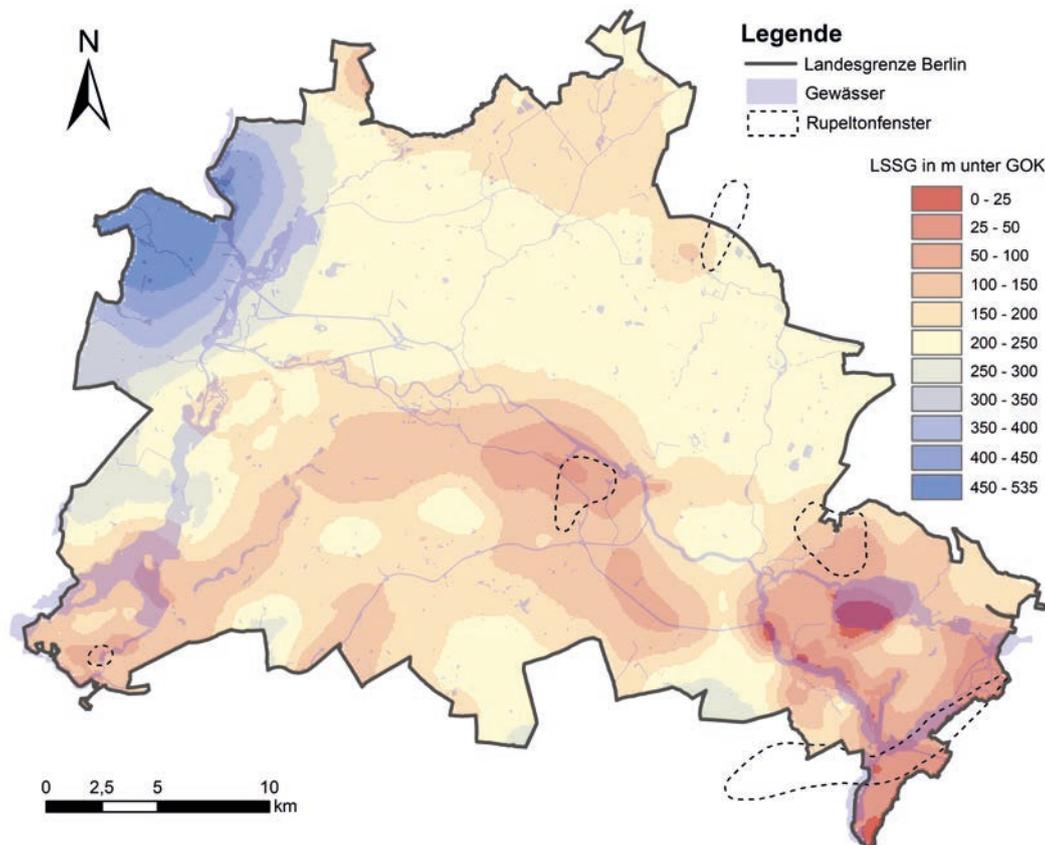


Abb. 8: Lage der Süß-/Salzwassergrenze (LSSG) relativ zur Geländeoberkante (GOK)  
 Fig. 8: Location of the freshwater/saltwater boundary (LSSG) relative to ground level (GOK)

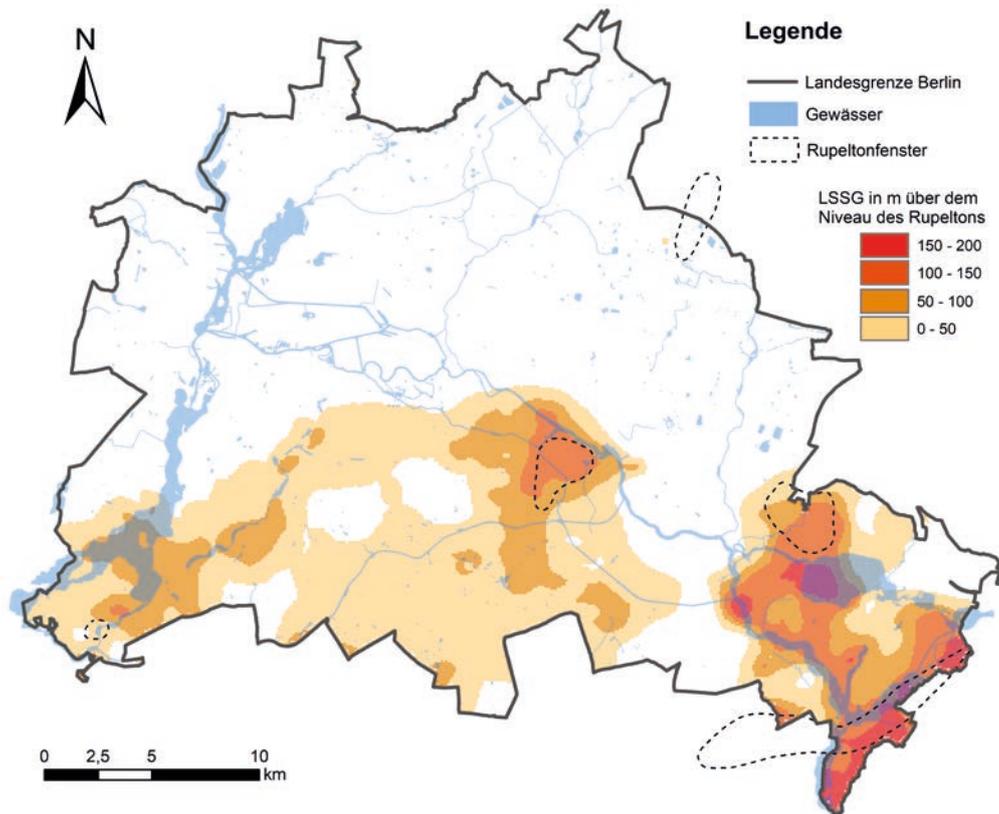


Abb. 9: Lage der Süß-/Salzwassergrenze relativ zum Höhenniveau des Rupeltons (Oberkante)  
 Fig. 9: Position of the freshwater/saltwater boundary relative to the level of the Rupelian clay (upper edge)

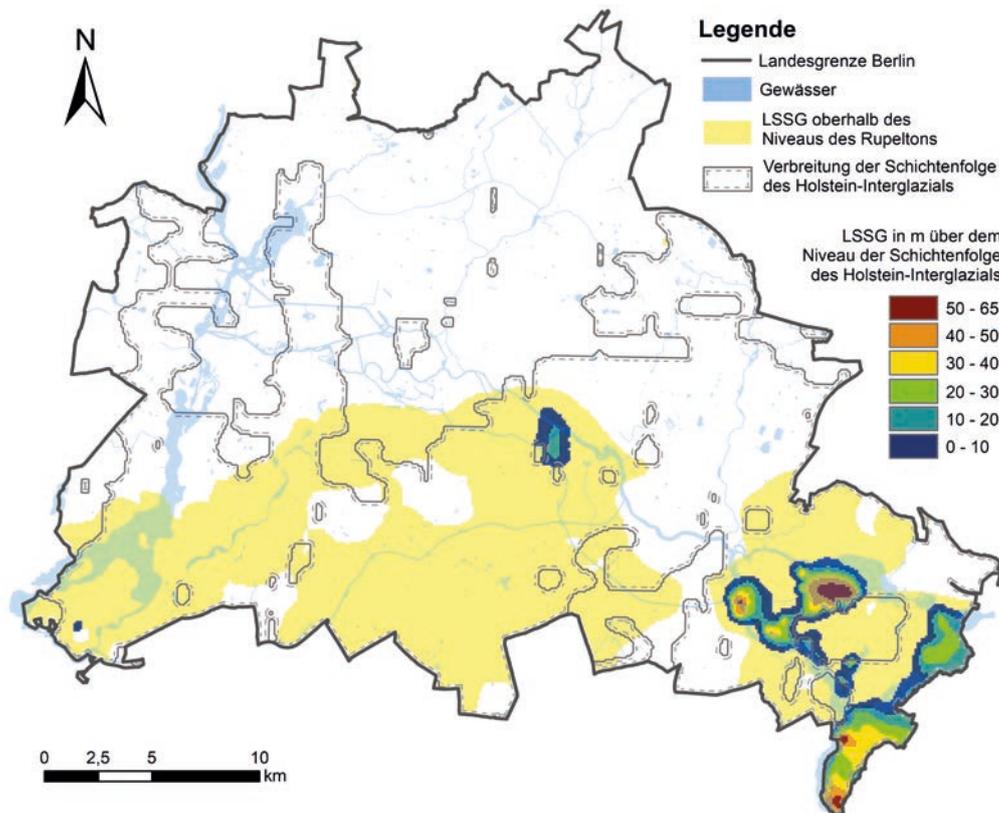


Abb. 10: Lage der Süß-/Salzwassergrenze (LSSG) relativ zum Höhenniveau der Schichtenfolge des Holstein-Interglazials (Oberkante)  
 Fig. 10: Location of the freshwater/saltwater boundary relative to the level of the Holstein interglacial strata (upper edge)

Süden (Fenster Neukölln). Des Weiteren ist bei Falkenberg/Wartenberg kleinräumig eine Versalzung oberhalb des Höhenniveaus des Rupeltons anzutreffen.

In dem großflächigen Bereich im Norden und Nordwesten wurden Zunahmen in der Porenwassermineralisationen dicht über dem Rupelton festgestellt, allerdings liegen diese im Bereich zwischen 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  und 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  und damit unterhalb der hier verwendeten Definition der Süß-/Salzwassergrenze.

Im Bereich südlich des Müggelsees ist an vielen Stellen eine Versalzung oberhalb des Höhenniveaus der Schichtfolge des Holstein-Interglazials anzutreffen, wie aus Abb. 10 deutlich wird. Außerdem wurden auch im Bereich des Rupelton-Fensters Wannsee versalzene Grundwässer oberhalb der Schichtfolge des Holstein-Interglazials angetroffen. Etwas außerhalb der Landesgrenze, in Richtung Potsdam, wurde außerdem ein Salzwasseraustritt dokumentiert. Auch nahe dem Rupeltonfenster Neukölln, wurde an drei Messpunkten eine Versalzung oberhalb der Schichten des Holstein-Interglazials festgestellt.

### Zusammenfassung

Mit den dargestellten Karten stehen nach umfangreicher Datenauswertung detaillierte Informationen zur Lage der Süß-/Salzwassergrenze erstmals für den gesamten Raum Berlin zur Verfügung. Die Lage der Süß-/Salzwassergrenze ist damit besser prognostizierbar als dies anhand bisher verfügbarer Karten möglich war. Versalzungerscheinungen oberhalb des Höhenniveaus des Rupeltons sind vorrangig im Süden Berlins anzutreffen, besonders im Bereich des Fensters Neukölln im Zentrum Berlins, im Südosten zwischen dem Müggelsee und dem Fenster Schmöckwitz sowie ausgehend vom Fenster Wannsee in Richtung Stadtzentrum. Großflächig ausgeprägte Versalzungerscheinungen bis oberhalb der Schichtenfolge des Holstein-Interglazials sind zumeist begrenzt auf den östlichen Bereich des Warschau-Berliner Urstromtals.

### Summary

With the maps shown, detailed information on the position of the freshwater / saltwater boundary for the entire Berlin area is available for the first time after extensive data analysis. The freshwater / saltwater boundary can thus be predicted much better than using previously available maps. Salinization phenomena above the level of the Rupelian clay are primarily to be found in the south of Berlin, especially in the area around the Neukölln window in the center of Berlin, in the southeast between lake Müggelsee and the Schmöckwitz window as well as starting from the Wannsee window towards the city center. Large areas of salinization above the succession of the Holstein interglacial strata are mostly limited to the eastern area of the Warsaw-Berlin glacial valley.

### Danksagung

Besonderer Dank gebührt den Mitarbeitern der Berliner Landesgeologie (insbesondere A. Limberg, A. Kolberg und U. Hörmann), der Berliner Wasserbetriebe (insbesondere L. Paul und Dr. G. Lorenzen) sowie Prof. Dr. H.-J. Voigt (BTU Cottbus - Senftenberg) für die großzügige Unterstützung und konstruktive Zusammenarbeit.

### Literatur

- BOSSE, R., DIETTERLE, J., HAGEN, H.-H., SIEDLER, U., GROHNKE, C. & MÜLLER, M. (1989): Aufschlussakte Hydrogeologische Detailerkundung Berlin Lichtenberg. Berlin (VEB WAB Berlin), unveröffentlicht
- BURDE, B. & VOLKMER, E. (1977): Zusammenfassender Ergebnisbericht zu den geophysikalischen Bohrlochmessungen in den hydrogeologischen Erkundungsbohrungen der Objekte Hy\_Berlin/1972 und Hy\_BLN\_Müggelsee/1976. Storkow (VEB Geophysik), unveröffentlicht
- DAVIS, S. N. & DE WIEST, R. J. M. (1967): Hydrogeology. 2. Aufl., 463 S., New York (Wiley)
- FRICKE, S. & SCHÖN, J. (1999): Praktische Bohrlochgeophysik. Stuttgart (Enke)
- GEOPORTAL BERLIN (2018): ATKIS ®DGM - Digitales Geländemodell. [fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp](http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp), Stand: 15.12.2015, Letzter Zugriff: 04.05.2018
- GRUS, K., BEDNEL, R. & KNIESEL, J. (1983): Ergebnisbericht Tiefe Grundwasserleiter Berlin. Potsdam (Wasserwirtschaftsdirection Oder-Havel), unveröffentlicht
- GUTIERREZ, J.-P. (2015): Entwicklung von elektrischen Widerstandsmodellen des geologischen Untergrundes anhand von Bohrlochmessdaten sowie Vergleich mit geoelektrischen und elektromagnetischen Oberflächenmessungen. Projektarbeit, Cottbus (Brandenburgische Technische Universität Cottbus – Senftenberg), unveröffentlicht
- HAGEN, H.-H. & KRÜGER, R. (1975): Ergebnisbericht Berlin - Buch 1974. Cottbus (Wasserwirtschaftsdirection Spree - Oder – Neiße), unveröffentlicht
- HANNEMANN, M. & SCHIRRMEISTER, W. (1998): Paläohydrogeologische Grundlagen der Entwicklung der Süß-/Salzwassergrenze und der Salzwasseraustritte in Brandenburg. Brandenburg. geowiss. Beitr. 5, 2/2, S. 61–72, Cottbus
- KABOTH, T., DIETTERLE, J., HAGEN, H.-H. & SIEDLER, U. (1988): Aufschlussakte Hydrogeologische Detailerkundung SAM Berlin. Berlin (Wasserwirtschaftsdirection Berlin), unveröffentlicht

- KNIESEL, J. (1985): Abbruchdokumentation Berlin Mitte 1984, Berlin (VEB Hydrogeologie), unveröffentlicht
- LANDESGEOLOGIE BERLIN (SENATSWERWALTUNG FÜR UMWELT, VERKEHR UND KLIMASCHUTZ) (2020): Geologisches Landesmodell für das Quartär und Tertiär. berlin.geo-3d.de/berlin3d/portal/, Letzter Zugriff: 22.09.2020
- LANDESGEOLOGIE BERLIN (SENATSWERWALTUNG FÜR UMWELT, VERKEHR UND KLIMASCHUTZ) (2008): Verkehr und Klimaschutz – Wasser und Geologie. www.berlin.de/senvvk/umwelt/wasser/geologie/. Letzter Zugriff am: 22.09.2020
- LIMBERG, A., JONAS, O. & KOLBERG, A. (2016): Detektion möglicher Fehlstellen im Rupelton durch Messung der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit in tiefen Grundwassermessstellen im Land Berlin. Brandenburg. geowiss. Beitr. 23, 1/2, S. 11–15, Cottbus
- LIMBERG, A., DARKOW, P., FAENSEN-THIEBES, A., FRITZTAUTE, B., GÜNTHER, M., HÄNEL, K., HÖRMANN, U., JAHN, D., KÖHLER, A., KRÜGER, E., MAY, S., NAUMANN, J. & WAGNER, M. (2007): Grundwasser in Berlin - Vorkommen. Nutzung. Schutz. Gefährdung. Berlin (Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz)
- LIMBERG, A. & THIERBACH, J. (2002): Hydrostratigraphie von Berlin - Korrelation mit dem Norddeutschen Gliederungsschema. Brandenburg. geowiss. Beitr. 9, 1/2, S. 65–68, Cottbus
- SCHRAMM, T. (2018): Grundwasserversalzung im Raum Berlin – Eine Gefährdung für die Trinkwasserversorgung?. Masterarbeit, Cottbus (Brandenburgische Technische Universität Cottbus – Senftenberg), unveröffentlicht
- SDT 2016 (DEUTSCHE STRATIGRAPHISCHE KOMMISSION) (2016): Stratigraphische Tabelle von Deutschland 2016. Potsdam (GeoForschungsZentrum)
- STACKEBRANDT, W., MANHENKE, V. & SONNTAG, A. (2010): Atlas zur Geologie von Brandenburg im Maßstab 1:1.000.000. 4. aktualisierte Auflage, Cottbus (Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg)
- VOGT, D. (1988): Erforschung des tieferen Untergrundes von Berlin (West) - hier: Bohrprogramme "Nord", "Süd" und "Mitte" - Anlage 1. Berlin (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz), unveröffentlicht
- WASCINSKI, F. (1993): Lage der Süß-/Salzwassergrenze im Bereich der Neuköllner Rinne. Diplomarbeit, Berlin (Freie Universität Berlin - Institut für Geologie, Geophysik und Geoinformatik - Fachrichtung Rohstoff und Umweltgeologie), unveröffentlicht
- ZIESCHANG, J. & REISS, G. (1978): Zwischenbericht Regimeuntersuchungen Hydrogeologie - Anhang 1: Objekt Berlin Nordost. Bernau (Zentrales Geologisches Institut), unveröffentlicht
- ZIESCHANG, J. & JAHNKE, G. (1978): Zwischenbericht Regimeuntersuchungen Hydrogeologie - Anhang 2: Objekt Berlin Südost. Bernau (Zentrales Geologisches Institut), unveröffentlicht

**Anschrift der Autoren:**

M. Sc. Tim Schramm  
 Badstraße 54  
 13357 Berlin  
 tim.schramm@posteo.de

Prof. Dr. Rainer Herd  
 Lehrstuhl Rohstoff- und Ressourcenwirtschaft  
 Brandenburgische Technische Universität Cottbus –  
 Senftenberg  
 Platz der Deutschen Einheit 1  
 03046 Cottbus  
 herd@b-tu.de

Brandenburg. geowiss. Beitr.	Cottbus	27 (2020), 1/2	S. 61–73	9 Abb., 9 Zit.
------------------------------	---------	----------------	----------	----------------

# Erweiterung der Karte des zu erwartenden höchsten Grundwasserstandes (zeHGW) für Berlin im Bereich der Teltow-Hochfläche und der Nauener Platte

## Enlargement of the map showing the expected highest groundwater level (exp. HGWL) of Berlin in the area of the Teltow Plateau and the Nauen Plateau

ULRIKE HÖRMANN UND HARTMUT VERLEGER

### 1 Einführung und Problemstellung

Die Höhe des Grundwasserstandes ist bekanntermaßen für viele praktische Fragestellungen von Bedeutung. Im Bauwesen ist insbesondere die Kenntnis des höchsten Grundwasserstandes sowohl für die Bemessung einer Bauwerksabdichtung als auch für geotechnische Sicherheitsnachweise der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken erforderlich.

Seit vielen Jahrzehnten werden in Berlin von der Arbeitsgruppe Landesgeologie in der Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz hierzu auf Anfrage Grundwasserstandsdaten zur Verfügung gestellt. Das sind z. B. aktuelle Grundwasserstände (AGW) und höchste Grundwasserstände (HGW). Bei Letzteren handelt es sich um tatsächlich während des Beobachtungszeitraums der jeweiligen Grundwassermessstelle registrierte Höchstwerte. Damit wird der HGW hier als gemessener höchster Grundwasserstand verstanden. Bei in die Zukunft gerichteten Fragestellungen – wie es bei der Errichtung und Sanierung von Bauwerken der Fall ist – muss im Einzelfall beurteilt werden, ob ein solcher HGW auch wieder auftreten oder gar überschritten werden kann. Dabei müssen die jeweilige Beobachtungsspanne, die Messfrequenz und mögliche anthropogene Beeinflussungen des Grundwasserstandes betrachtet und bei der Festlegung eines Bemessungsgrundwasserstandes berücksichtigt werden.

Die Beobachtungsdauer der Grundwassermessstellen ist in Berlin sehr unterschiedlich. Z. T. reichen die Aufzeichnungen des Grundwasserstandes zwar bis in die 1870er Jahre zurück, die aber nur an wenigen Grundwassermessstellen im seinerzeitig kleinen Stadtgebiet (vorwiegend das heutige Berlin-Mitte). Hier sind im 19. Jahrhundert meist deutlich höhere Grundwasserstände gemessen worden als heute, die aber einer Festlegung von Bemessungsgrundwasserständen nicht zugrunde gelegt werden sollten, da sie die Folge von geohydraulischen Randbedingungen sind, die heute nicht mehr herrschen und auch in Zukunft nicht wieder zu erwarten sind (LIMBERG, HÖRMANN & VERLEGER 2010).

Ein weiteres Problem bei der Beurteilung des HGW hinsichtlich seiner Eignung im konkreten Fall ist der Umstand, dass einerseits der Grundwasserstand in weiten Bereichen des Berliner Stadtgebiets seit z. T. mehr als 100 Jahren vor allem durch die Grundwasserentnahmen der Wasserwerke abgesenkt ist und andererseits hier kaum Informationen über die Höhe des Grundwasserstandes aus der Zeit vor diesen Maßnahmen vorliegen. Damit ist in diesen Bereichen ein quasi unbeeinflusster Zustand überhaupt nicht bekannt. Bei der Bemessung von Bauwerken kann aber nicht davon ausgegangen werden, dass diese Grundwasserabsenkungen dauerhaft Bestand haben werden, was nicht zuletzt Probleme mit Kellervernässungen in den letzten Jahrzehnten gezeigt haben.

Da die Festlegung von Bemessungsgrundwasserständen allein auf der Basis gemessener Werte mitunter recht aufwändig ist, dazu ein hohes Maß an Sachkenntnis und örtlicher Erfahrung erfordert, hatte sich die Arbeitsgruppe Landesgeologie (seinerzeit unter der Leitung von Herrn Dipl.-Geol. Jens Thierbach, nachfolgend Herrn Dipl.-Geol. Alexander Limberg) bereits Mitte der 1990er Jahre entschlossen, unter Zuziehung externer Fachleute eine Karte des zu erwartenden höchsten Grundwasserstandes für das gesamte Berliner Landesgebiet zu entwickeln. Zweck dieser Karte sollte zunächst eine Zeitersparnis für die Bearbeiter sein, die Grundwasserauskünfte kostenpflichtig auf Anfrage erteilen. Ferner war es das Ziel, die Qualität der Informationen zum höchsten Grundwasserstand zu verbessern, indem auch Aussagen in den Gebieten mit langfristiger Grundwasserabsenkung möglich werden. Bis dahin konnten hier nur gemessene höchste Grundwasserstände mit dem Hinweis einer Beeinflussung - ohne diese zu quantifizieren - mitgeteilt werden.

Der auf dieser Karte darzustellende zu erwartende höchste Grundwasserstand (abgekürzt: zeHGW) wurde als derjenige Grundwasserstand definiert, der sich witterungsbedingt maximal einstellen kann. Er kann nach extremen Feuchtperioden auftreten, sofern der Grundwasserstand in der Umgebung durch künstliche Eingriffe weder abgesenkt noch aufgehört wird.

Der zeHGW ist damit für Bauzwecke deutlich aussagekräftiger als ein in der Vergangenheit – oft nur zufällig – gemessener HGW.

Sinngemäß entspricht die Definition des zu erwartenden höchsten Grundwasserstandes damit der Definition des „Bemessungsgrundwasserstandes“ für Bauwerksabdichtungen gemäß BWK-Regelwerk, Merkblatt BWK-M8 (BWK 2009). Der Begriff Bemessungsgrundwasserstand wird hier zugunsten des Begriffs zu erwartender höchster Grundwasserstand jedoch nicht verwendet, da die zeHGW-Karte auch für andere Fragen neben der nach einer erforderlichen Bauwerksabdichtung zur Verfügung gestellt wird (LIMBERG, HÖRMANN, & VERLEGER 2015).

Bereits bei Beginn dieser Arbeiten wurde – die Entwicklung und Chancen der Digitalisierung voraussehend – ins Auge gefasst, diese Karte dem Nutzer auch direkt über das Internet zur Verfügung zu stellen.

Wegen des von vornherein abzusehenden großen Aufwandes für die Anfertigung einer solchen Karte für ganz Berlin – bedingt durch die Einbeziehung der immensen zu berücksichtigenden Menge an Daten und sonstigen Informationen über Grundwasserstände, hydrogeologische Verhältnisse und anthropogene Einflüsse auf das Grundwasser – war

eine abschnittsweise Bearbeitung geplant. Diese richtete sich nach den hydrogeologischen Teilräumen im Land Berlin (Abb. 1):

- dem Warschau-Berliner Urstromtal, das das Berliner Stadtgebiet von Südosten nach Nordwesten durchzieht,
- dem Panketal, bei dem es sich um ein Nebental des Urstromtals handelt,
- der Teltow-Hochfläche und Nauener Platte im Südwesten sowie
- der Barnim-Hochfläche im Nordosten.

Im Hinblick auf die Kartenentwicklung unterscheiden sich die hier ausgewiesenen Bereiche nicht nur durch ihre geologischen Strukturen sondern auch durch das Maß der Beeinflussung des Grundwassers durch den Menschen und z. T. auch durch das Verhältnis des Umfangs der verfügbaren Daten zur Komplexität der hydrogeologischen Verhältnisse.

Als erster Schritt wurde eine zeHGW-Karte für das Berliner Urstromtal angefertigt (LIMBERG, HÖRMANN & VERLEGER 2010). Die dabei angewandte Methode fußt wesentlich auf einem zu diesem Zweck entwickelten numerischen Grundwasserströmungsmodell, mit dem die Grundwasserpotenzialhöhenverteilung für den sogenannten zeHGW-Fall, d. h. keine temporären Grundwasserentnahmen und -einleitungen sowie hohe Grundwasserneubildung, simuliert wurde. Die berechnete Verteilung der Potenzialhöhen für den

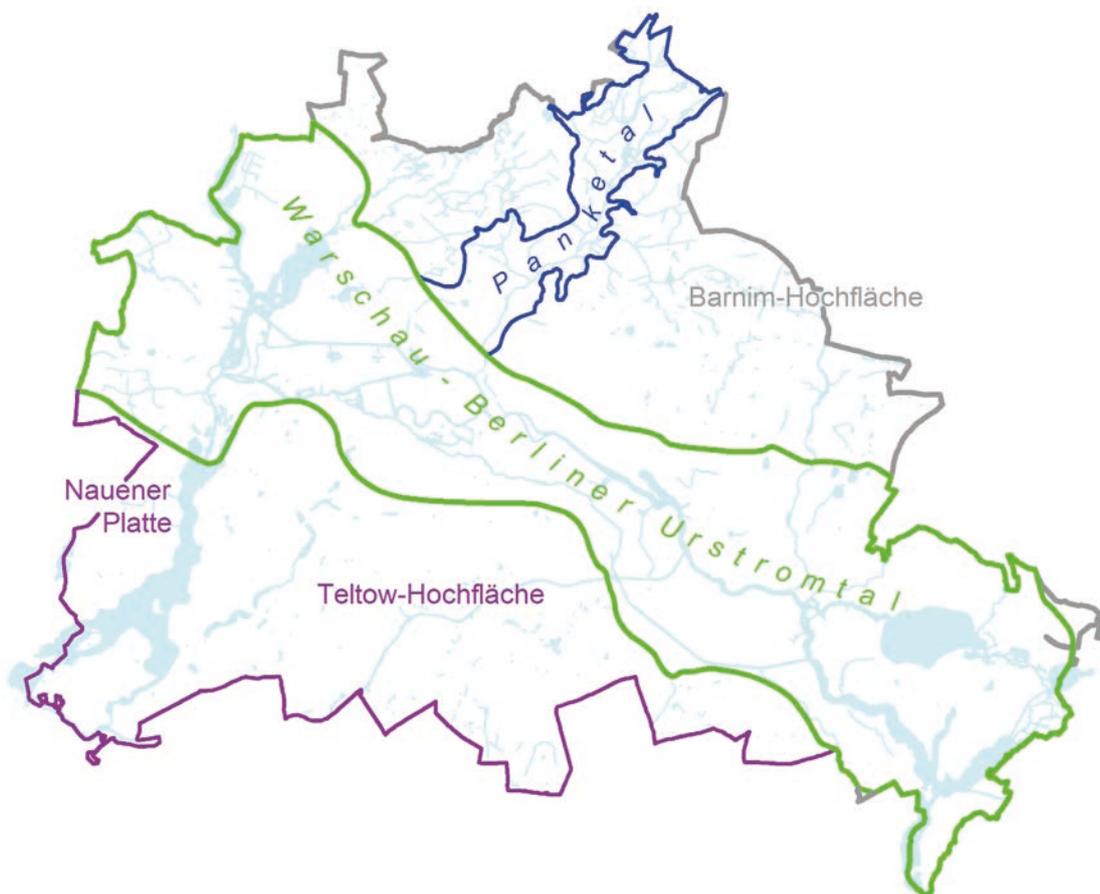


Abb. 1: Hydrogeologische Teilräume im Land Berlin.

Fig. 1: Hydrogeological sub-regions in Berlin.

obersten Grundwasserleiter im Urstromtal ist in Form von Linien des gleichen zeHGW auf der Karte dargestellt. Nach einer intensiven Plausibilitätsprüfung wurde diese Karte ab 2009 von den Fachleuten der Senatsverwaltung intern im Rahmen von Grundwasserauskünften benutzt.

Anschließend ist für das Gebiet des Panketals eine zeHGW-Karte erstellt worden. Dabei wurde nach Voruntersuchungen aufgrund der hier herrschenden Datenlage und einer vergleichsweise geringen anthropogenen Beeinflussung eine andere Methode entwickelt, die auf einer Abschätzung von zu erwartenden höchsten Grundwasserständen an den einzelnen vorhandenen Grundwassermessstellen basiert (HÖRMANN & VERLEGER 2016). Die Karte für das Panketal wurde mit der für das Urstromtal zusammengeführt und 2015 im Internet zur Verfügung gestellt.

Nachfolgend ist für den Bereich südwestlich des Berliner Urstromtals eine zeHGW-Karte angefertigt worden, die Gegenstand dieses Artikels ist. Als besondere Herausforderung erwies sich hier die Kombination der im Vergleich zum Urstromtal deutlich komplexeren hydrogeologischen Struktur

der Teltow-Hochfläche und der Nauener Platte mit einer intensiven, langjährigen Grundwasserbewirtschaftung. In der Konsequenz dieser Umstände, war hier die Abschätzung einer zeHGW-Verteilung nur mit Hilfe eines numerischen Grundwassermodells möglich, dessen Aufbau zunächst eine für die Aufgabenstellung hinreichende Erfassung und datenmäßige Aufbereitung der hydrogeologischen Strukturen erforderte.

## 2 Geologische Verhältnisse und Grundwassernutzung

### Geologie und Hydrogeologie

Die Teltow-Hochfläche und Nauener Platte schließen im Süden an das Warschau-Berliner Urstromtal an. Der geologische Aufbau, beispielhaft in Abbildung 2 dargestellt, zeichnet sich im Süßwasserstockwerk oberhalb des unteroligozänen, marinen Rupeltons durch z. T. glaukonit- oder glimmerführende Sande des oberen Oligozäns, gefolgt von

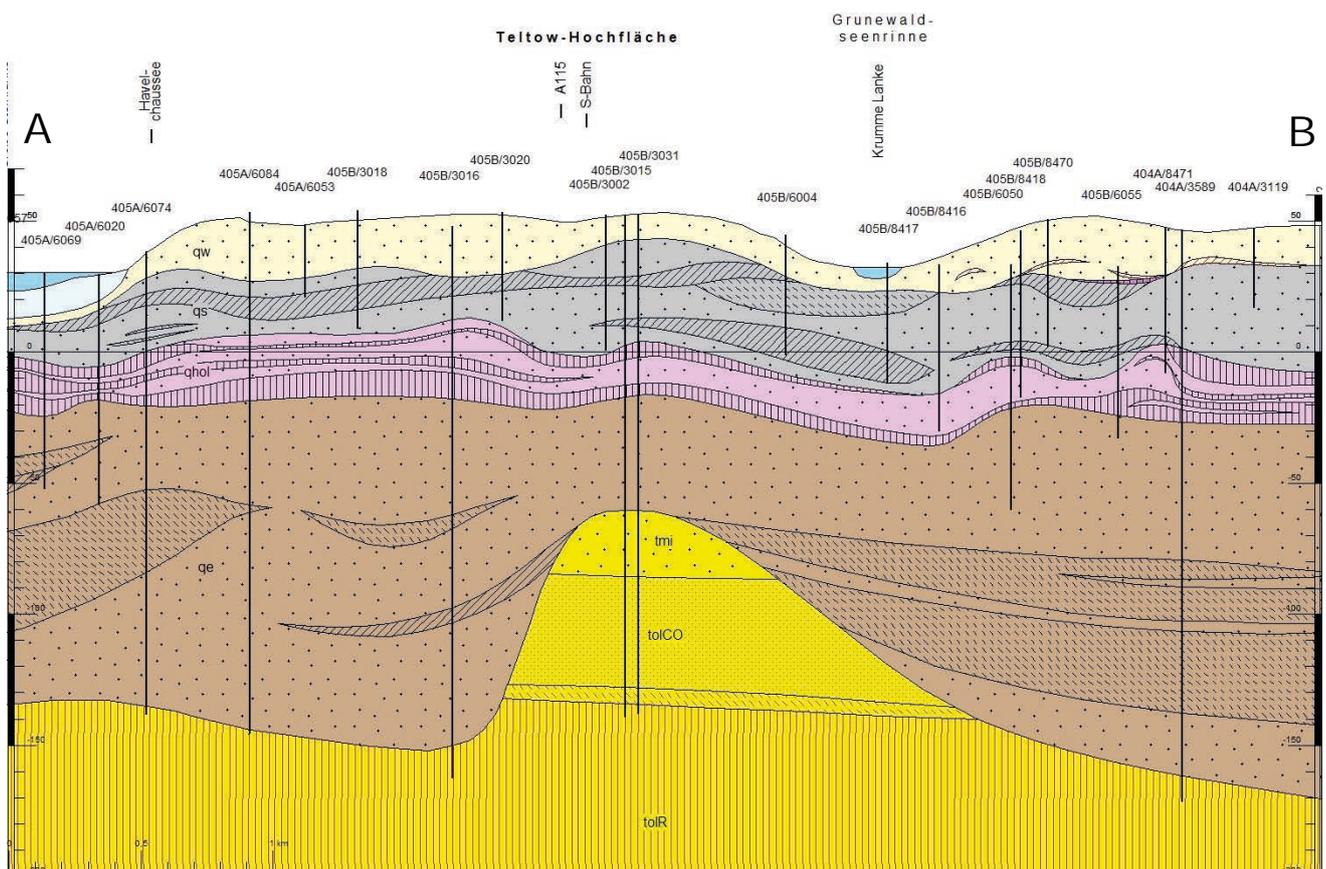


Abb. 2: Ausschnitt aus dem geologischen Schnitt Ost-West 24, qw: Weichsel-Kaltzeit, qs: Saale-Kaltzeit, qhol: Holstein-Warmzeit, qe: Elster-Kaltzeit, tmi: Miozän, tolCO: Oberoligozän-Cottbuser Folge, tolR: Unteroligozän-Rupel Folge, Linienschraffur: bindige Sedimente, Punktschraffur: rollige Sedimente (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen 2020); die Lage des Schnittes ist in Abb. 3 dargestellt.

Fig. 2: Segment of the geological cross section E-W 24, qw: Weichselian glacial, qs: Saale glacial, qhol: Holstein interglacial, qe: Elster glacial, tmi: Miocene, tolCO: upper Oligocene-Cottbuser sequence, tolR: lower Oligocene-Rupel sequence, lined hatching: cohesive sediments, dotted hatching: non-cohesive sediments (Senate Department for Urban Development and Housing 2020), the location of the cross section is shown in Fig. 3.

einem Wechsel zu küstennah bis kontinental gebildeten Sanden im Miozän aus. Im Hangenden enthalten diese zunehmend Einschaltungen von Schluffen und Braunkohlen. Darüber sind Ablagerungen der drei nordischen, durch mehrere Eisvorstöße gekennzeichneten Kaltzeiten und der dazwischenliegenden Warmzeiten aufgeschlossen. Während der Elster-Kaltzeit wurden in tiefen glazialen, vorwiegend NNE-SSW orientierten Schmelzwasserrinnen, in denen die tertiären Sedimente inklusive des Rupeltons teilweise vollständig erodiert wurden, Serien von Geschiebemergeln, Sanden sowie Beckentonen und -schluffen sedimentiert. Von Westen aus lassen sich die Havelrinne, die Wilmersdorfer Rinne mit ihrer Verbindung über die schmale Kreuzberger Rinne zur östlichen Neuköllner Rinne unterscheiden. In der folgenden Holstein-Warmzeit lagerten sich limnische und fluviatile Sedimente ab, hauptsächlich als Mudden, Tone, Sande und Kiese. Anschließend wurden diese Sedimente in der Saale-Kaltzeit an einigen Stellen völlig ausgeräumt und eine Serie von glazial geprägten Sanden, Geschiebemergeln und Beckentonen abgelagert, über denen sich lokal auch warmzeitliche, limnische Sedimente der Eem-Warmzeit in geringer Mächtigkeit nachweisen lassen. Während der letzten großen Vereisung kam es in der Weichsel-Kaltzeit erneut zur erosiven Überprägung des Reliefs und zur Sedimentation einer Serie von typischen glazifluviatilen und glazialen Ablagerungen vorwiegend mit Sanden und Geschiebemergeln, die in verlandeten Abflusstälern und Becken auch holozäne Torfe und Mudde im Hangenden aufweisen.

Die hydrogeologischen Verhältnisse über dem Rupelton zeichnen sich großräumig durch vier, lokal durch Grundwasser geringleitende (hemmende) Sedimente weiter untergliederte Grundwasserleiter aus. Der erste Grundwasserleiter wird durch Ablagerungen der Weichsel-Kaltzeit und dem Holozän aufgebaut. Der überwiegend Saale-kaltzeitliche zweite Grundwasserleiter repräsentiert den Hauptgrundwasserleiter, aus dem, berlinweit gesehen, der überwiegende Teil der Trinkwasser- und Brauchwasserförderung erfolgt. Der dritte Grundwasserleiter wird hauptsächlich durch Sedimente der Elster-Kaltzeit und der vierte Grundwasserleiter durch Ablagerungen des Miozäns und oberen Oligozäns gebildet. Aufgrund von Fehlstellen in den Grundwasserhemmern gibt es stellenweise hydraulische Verbindungen zwischen den einzelnen Grundwasserleitern.

Das Grundwasser fließt im Hauptgrundwasserleiter entsprechend seinem natürlichen Gefälle im westlichen Teil der Teltow-Hochfläche bzw. Nauener Platte in Richtung Havel, die hier mit ihren seenartigen Ausbuchtungen – wie z. B. dem Großen Wannsee – den Hauptvorfluter bildet (Abb. 3). Im östlichen Bereich der Hochfläche fließt es in nördliche Richtung zum Urstromtal. Insbesondere im zentralen und südlichen Bereich der Teltow-Hochfläche sind gespannte Grundwasserverhältnisse verbreitet. In sandigen Partien kann über bindigen Sedimenten lokal auch oberflächennahes, im Allgemeinen als Schichtenwasser bezeichnetes Grundwasser auftreten.

## Grundwasserbewirtschaftung

Im Bereich der Teltow-Hochfläche und Nauener Platte wurden mehrere Wasserwerke (WW) für die öffentliche Trinkwasserversorgung errichtet. Der Betrieb im WW Beelitzhof wurde 1888, im WW Tiefwerder 1914 und im WW Kladow 1932 aufgenommen, wobei unterschiedliche Grundwasserleiter wasserwirtschaftlich genutzt werden. Da die Fördergalerien größtenteils entlang der Havel liegen, wird mehr als 60 % der Rohwassergewinnung über Uferfiltration gespeist. Von 1955 bis 1995 wurde zusätzlich durch den Horizontalfilterbrunnen im WW Riemeisterfenn Grundwasser für die Trinkwasserproduktion gefördert, des Weiteren nutzen verschiedene Eigenwasserversorgungsanlagen in den Gewerbegebieten ebenfalls die quartären Grundwasserleiter.

Durch die Rohwasserförderung für die zentrale Trinkwasserversorgung wurden großräumige Senktrichter erzeugt. Die Seen und Moore im Grunewald verloren dadurch häufig ihren Grundwasseranschluss, der Nikolassee und Riemeistersee fielen vollkommen trocken und im Schlachtensee senkte sich der Seewasserspiegel um ca. 2,20 Meter im Vergleich zum Jahr 1895. Als Gegenmaßnahme wird seit 1913 Havelwasser aus dem Wannsee entnommen und in den Schlachtensee eingeleitet. Aktuell werden bis ca. 4 Mio. m<sup>3</sup> jährlich nach einer Eliminierung der Phosphate in den Schlachtensee gepumpt und über ein künstliches Grabensystem in die nördlich in einer glazialen Rinne gelegenen Seen der Großen und Kleinen Grunewaldseen-Kette geleitet. Um die Feuchtgebiete und Uferbereiche der ursprünglich vom Grundwasser gespeisten Seen im Grunewald zu erhalten, werden lokale Maßnahmen zur Stützung des Wasserhaushaltes beispielsweise auch für den Nikolassee, Waldsee und Teufelssee durchgeführt.

Eine weitere großflächige und dauerhafte Grundwasserabsenkung im Bereich der Teltow-Hochfläche ist durch die Dränagewirkung des Teltowkanals bedingt, der 1906 fertiggestellt wurde und im westlichen Bereich dem Bäketal folgt. Unterhalb der Schleuse Kleinmachnow wurde beispielsweise damit das Vorflutniveau gegenüber der alten Bäke um etwa einen Meter tiefer gelegt.

## 3 Entwicklung der zeHGW-Karte mit Hilfe eines numerischen Grundwasserströmungsmodells

### Vorgehensweise

Die rechnerische Simulation des zu erwartenden höchsten Grundwasserstandes erfolgte mit einem numerischen Grundwasserströmungsmodell. Dazu waren, nach einer recht umfangreichen Aufbereitung von Daten über den Schichtaufbau des Untergrundes, die zeitliche Entwicklung der Grundwasserstände sowie der Pegelstände von oberirdischen Gewässern und die Grundwassernutzungen folgende Arbeitsschritte nötig:

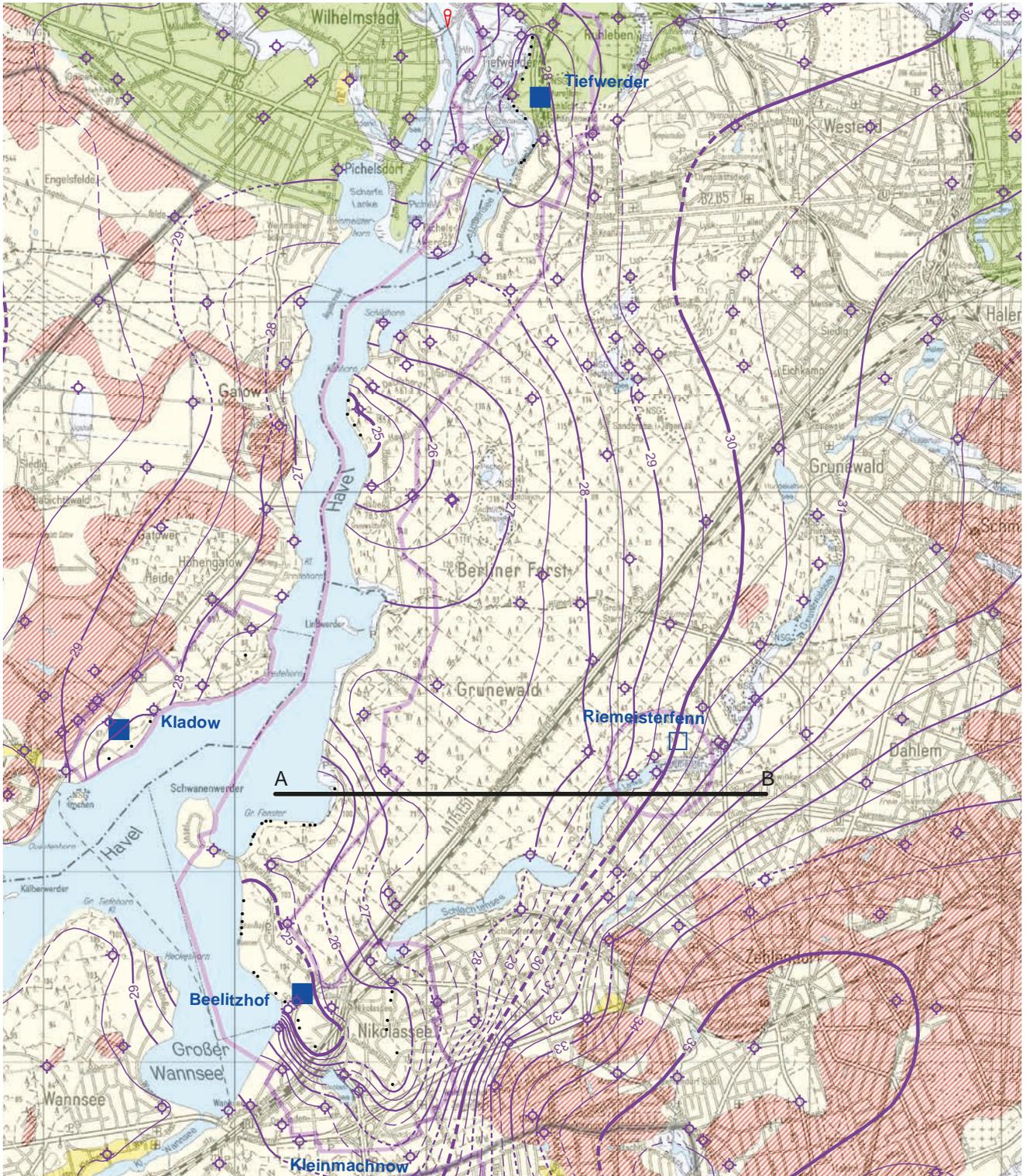


Abb. 3: Ausschnitt aus der Grundwassergleichkarte Mai 2018. Violett sind die Messstellen und Grundwassergleichen (in gespannten Bereichen gestrichelt) des Hauptgrundwasserleiters in m ü NHN dargestellt. Die Brunnen der Wasserwerke sind als schwarze Punkte, die Standorte der Wasserwerke als blaue Quadrate (ausgefüllt: in Betrieb, nicht ausgefüllt: stillgelegt) abgebildet. (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen 2019). Hintergrundkarte ist die geologische Skizze (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen 2013).

Fig. 3: Section of the groundwater isoline map of May 2018. The observation wells and groundwater isolines (confined areas are dashed) of the main aquifer in m a. s. l. are coloured violet. The wells of the waterworks are shown as black dots and the locations of the waterworks (filled: in operation, not filled: inoperative) are represented as blue squares (Senate Department for Urban Development and Housing 2019). The background map shows the geological outline (Senate Department for Urban Development and Housing 2013).

- strukturelle Differenzierung eines aus vorangegangenen Arbeiten entwickelten Grundwassermodells für die vorliegende Aufgabenstellung,
- Kalibrierung und Verifizierung des Modells,
- Simulation des zeHGW und
- Plausibilitätsprüfung und Nachkalibrierung des zeHGW-Modells.

### Modellstruktur

Die Basis des Grundwasserströmungsmodells bildete das bereits für die zeHGW-Karte des Urstromtals angelegte, das gesamte Berliner Landesgebiet umfassende, dreidimensionale Grundwasserströmungsmodell (verwendeter Simulator: Programmsystem MODFLOW).

In den Gebieten der Teltow-Hochfläche und der Nauener Platte waren im Vergleich zum Urstromtal auf Grund des beschriebenen hydrogeologischen Aufbaus – insbesondere der stärkeren Untergliederung des Saale-glazialen Hauptgrundwasserleiters in bereichsweise voneinander getrennte Teilgrundwasserleiter – eine entsprechende weitere Differenzierung des Modells nach der Tiefe hin erforderlich. Grundlage für die Erfassung der hydrogeologischen Strukturen waren die geologischen Schnitte der Arbeitsgruppe Landesgeologie, die in Ost–West-Richtung in einem Abstand von einem Kilometer verlaufen und durch einige Nord–Süd-Schnitte (SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND WOHNEN 2020) ergänzt werden. Zur Implementierung der geologischen Strukturen in das Modell sind diese Schnitte zunächst digitalisiert worden. Dabei ist im Hinblick auf die hydrogeologische Fragestellung eine Zuordnung der dargestellten Schichten entsprechend der Grundwasserleiterbezeichnungen für Berlin nach LIMBERG & THIERBACH (2002) vorgenommen worden.

Im Ergebnis der erhöhten Vertikaldiskretisierung ist das Modell nun in acht Modellschichten (sog. Layer) unterteilt (Abb. 4). Dabei steht die Modellschicht L 1 für den Grund-

wasserleiter GWL 2.1 und ggf. überlagernde Schichten aus lokal vorhandenen Geschiebemergeln und/oder Sanden, die den Grundwasserleiter GWL 1.1 bilden. Die Modellschicht L 2 umfasst den Tiefenbereich, in dem Geschiebemergelschichten auftreten, die örtlich den Grundwasserleiter GWL 2.1 vom tieferen GWL 2.2 trennen. Die Modellschicht L 3 soll den Grundwasserleiter GWL 2.2 wiedergeben, die Modellschicht L 4 den Tiefenbereich darunter, in dem neben Sanden auch derjenige Geschiebemergel auftritt, der lokal den GWL 2.2 vom tieferen Grundwasserleiter GWL 2.3 trennt. Letzterer wird durch die Modellschicht L 5 abgebildet. Die Modellschicht L 6 steht für die gering wasserleitenden Sedimente der Holstein-Warmzeit, die örtlich auch durch durchlässigere, meist sandige Schichten vertreten oder auch nicht vorhanden sind. Die Modellschichten L 7 und L 8 umfassen die Ablagerungen der Elster-Kaltzeit und des Miozäns, die in diesem Modell bisher nicht weiter untergliedert sind. Die untere Begrenzung des Modells bildet die Oberfläche des oligozänen, sehr gering wasserdurchlässigen Rupeltons, der im Berliner Raum das obere Süßwasserstockwerk vom tieferen Salzwaterstockwerk trennt.

Im Modell sind die einzelnen Modellschichten aus rechen-technischen Gründen durchgehend vorhanden. Das gilt natürlich nicht für die tatsächlichen Grundwassernichtleiter bzw. -geringleiter, die bereichsweise die einzelnen Grundwasserleiter voneinander trennen. Dem ist dadurch Rechnung getragen, dass die Rechenzellen dort, wo die hydraulisch trennende Schicht fehlt, mit Durchlässigkeitsbeiwerten entsprechend der an diesen Stellen vorhandenen Sande belegt wurden.

Lateral ist das Grundwasserströmungsmodell so angelegt, dass es nicht nur die gesamte Fläche des Landes Berlin umfasst, sondern auch umliegende Teile des Landes Brandenburg. Es ist in Modellzellen diskretisiert, die in der Draufsicht eine Größe von 50 x 50 m, untergeordnet von 50 x 100 m und nur in den Randbereichen von 100 x 100 m besitzen. Die Anzahl der Zellen pro Schicht beträgt 438 246, die Gesamtanzahl 3 505 968.

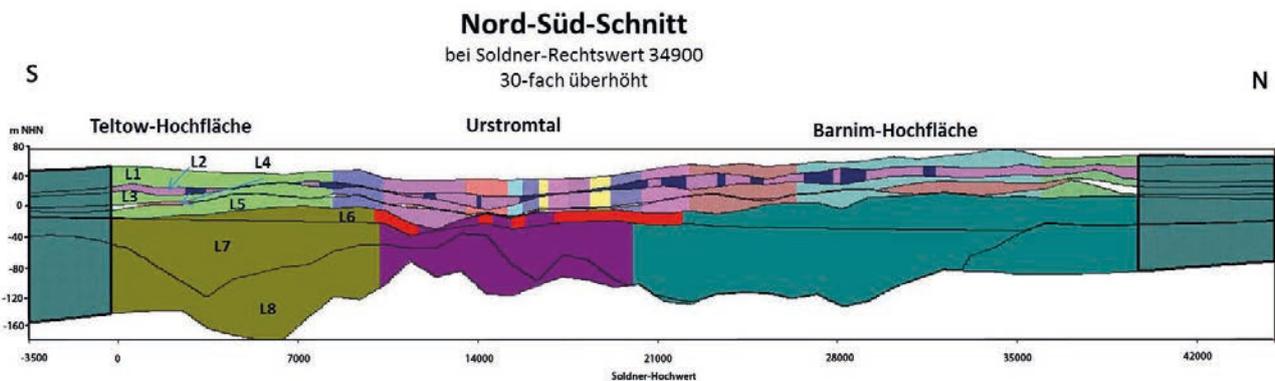


Abb. 4: Schnitt durch das numerische Modell – L 1 bis L 8 Nummerierung der Modellschichten (Layer); die Farben stehen für unterschiedliche hydraulische Leitfähigkeiten.

Fig. 4: Cross section through the numerical model – L 1 to L 8 show the numbering of the layers; the colours represent the different hydraulic conductivities.

### Kalibrierung und Verifizierung des Modells

Nach der Verfeinerung der Modellstruktur und einer Anfangsbelegung der Rechenzellen mit geschätzten Durchlässigkeitsbeiwerten, wurde eine Kalibrierung des Modells mittels hydraulisch stationärer Berechnungen vorgenommen. Nach Vorüberlegungen geschah dies für die Beeinflussung der Grundwasserhöhe durch diejenigen hydraulischen Randbedingungen, die im Mittel des Jahres 2001 geherrscht haben. Ausschlaggebend für die Wahl von 2001 als Kalibrierungszeitraum war eine relativ gute Datenlage hinsichtlich der Grundwasserstände.

Grundsätzlich wird die Grundwasserpotenzialhöhe (entsprechend dem Grundwasserstand) bedingt durch:

- die Grundwasserneubildung,
- den Spiegel der Vorflutgewässer (Pegel der natürlichen und künstlichen oberirdischen Gewässer),
- Grundwasserentnahmen z. B. zur Wasserversorgung oder Grundwasserabsenkung bei Baumaßnahmen,
- Einleitungen in das Grundwasser zur Grundwasseranreicherung oder Verbringung von Wasser und
- den geologischen Schichtaufbau mit seiner örtlich differenzierten hydraulischen Leitfähigkeit.

Zu diesen Randbedingungen liegt für das Gebiet der Teltow-Hochfläche und der Nauener Platte im Berliner Landesgebiet umfangreiches Datenmaterial vor, das zusammengestellt, gesichtet, aufbereitet und im Modell implementiert wurde.

Im Rahmen der Kalibrierung wurden die Jahresmittelwerte gemessener Grundwasserstände mit den modellberechneten Grundwasserpotenzialhöhen verglichen und einzelne der

genannten – nur bedingt bekannten – Randbedingungen solange variiert, bis eine hinreichende Übereinstimmung der modellberechneten mit den beobachteten Grundwasserständen erreicht war.

Dazu war zunächst die Aufbereitung und anschließende Implementierung dieser Grundwassermessstellendaten (z. B. Lage der Filterstrecken, Jahresmittelwerte) erforderlich. Es handelt sich um insgesamt 777 Grundwassermessstellen, von denen 532 im hier besonders relevanten Hauptgrundwasserleiter (Modellschichten L 1 bis L 6) verfiltert sind (Abb. 5). Die Modellkalibrierung geschah durch eine Vielzahl von Rechenläufen, in denen vor allem die Verteilung der anfangs eingegebenen, nur grob abschätzbaren Wasserleitfähigkeit variiert wurde. Die dadurch erreichte Anpassung der modellberechneten Potenzialhöhen an die beobachteten Standrohrspiegelhöhen gelang zumindest näherungsweise recht gut (Abb. 6), jedoch nicht ganz so gut wie seinerzeit für die zeHGW-Karte im Berliner Urstromtal. Wie sich bei der Bearbeitung herausstellte, ist ein wesentlicher Grund hierfür, dass der kompliziertere Schichtaufbau in den Hochflächenbereichen durch die verwendeten geologischen Schnitte zum Teil nur eingeschränkt bzw. vereinfacht wiedergegeben wird. Um etwaige daraus folgende Unsicherheiten hinsichtlich der zeHGW-Karte zu minimieren, wurde das Modell nach Simulation der zeHGW-Verteilung im Rahmen der Plausibilitätsprüfung nachkalibriert (s. u.).

Bereits vor der Nachkalibrierung ist eine Verifizierung des Modells vorgenommen worden. Dazu ist die mittlere Grundwasserhöhenverteilung für das Jahr 2004 simuliert worden, in dem gegenüber dem Jahr 2001 unterschiedliche

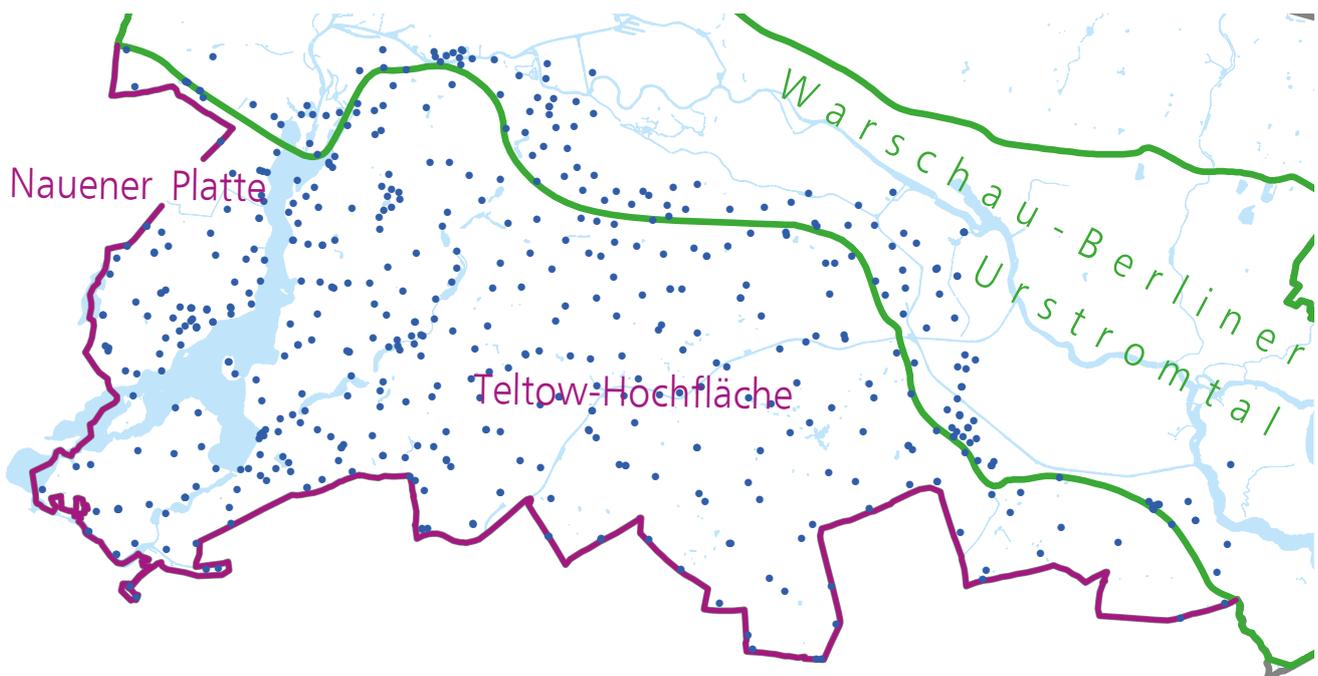


Abb. 5: Lage der zur Modellkalibrierung benutzten Grundwassermessstellen.

Fig. 5: Location of the groundwater observation wells used for the calibration of the model.

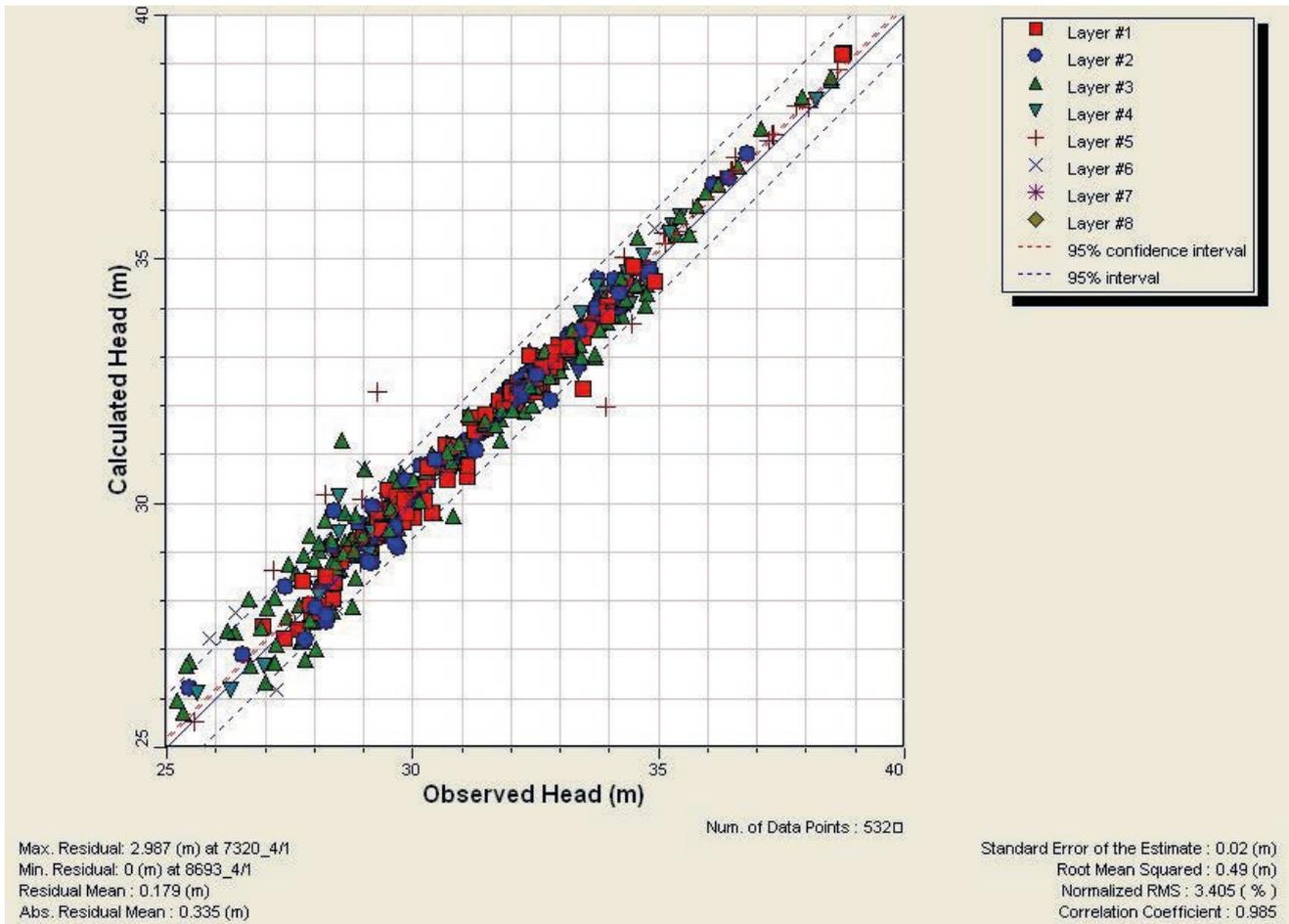


Abb. 6: Vergleich der beobachteten Standrohrspiegelhöhen (Observed Head, Mittelwerte 2001) mit den modellberechneten Standrohrspiegelhöhen (Calculated Head) für die in den Modellschichten L 1 bis L 6 verfilterten Grundwassermessstellen.

Fig. 6: Comparison of observed heads (means of the year 2001) to model calculated heads for the observation wells with well screens in the layers L 1 to L 6.

Grundwasserförderungen und -einleitungen stattgefunden hatten. Der Vergleich der modellberechneten mit den gemessenen Standrohrspiegelhöhen lieferte eine ähnlich gute Übereinstimmung wie für den Kalibrierungszeitraum 2001. Damit ist die grundsätzliche Eignung des Modells zur Simulation von Grundwasserständen bei unterschiedlichen hydraulischen Randbedingungen bestätigt.

### Simulation des zeHGW

Zur Berechnung des zu erwartenden höchsten Grundwasserstandes sind die Randbedingungen wie folgt geändert worden:

- es finden keine Grundwasserentnahmen statt, weder zur Wasserversorgung durch die Berliner Wasser Betriebe und private Nutzer noch zum Zweck von Grundwasseranreicherungsmaßnahmen oder die Wasserfreihaltung von Baugruben,
- es werden keine Einleitungen in das Grundwasser vorgenommen (beispielsweise Grundwasseranreicherungs-

maßnahmen der Berliner Wasser Betriebe, Verbringung von Filterrückspülwässern),

- die Grundwasserneubildung ist deutlich erhöht (je nach Größe der mittleren Grundwasserneubildung um Faktoren bis maximal 1,3 – basierend auf Erfahrungen vorangegangener Modellierungen),
- die Spiegel der oberirdischen Gewässer, die als Vorflut für das Grundwasser fungieren, sind gegenüber den Zeiten klimatisch durchschnittlicher Verhältnisse angehoben (je nach Analyse der Pegelganglinien bzw. der Art der Gewässerregulierung um einige Dezimeter bis maximal einen Meter).

Durch die Anhebungen der Grundwasserneubildung und der Vorflutniveaus sollten mit dem Modell Grundwasserpotenzialhöhen berechnet werden, die in den in der zeHGW-Definition genannten „extrem feuchten Perioden“ auftreten.

### Plausibilitätsprüfung und Nachkalibrierung des zeHGW-Modells

Zur Prüfung der auf diese Weise berechneten zeHGW-Verteilung standen die gemessenen HGW von 1118 Grundwassermessstellen zur Verfügung. Davon sind 911 im hier relevanten Hauptgrundwasserleiter (GWL 2.1, GWL 2.2 und GWL 2.3) verfiltriert. Der Vergleich ihrer HGW-Werte mit den modellberechneten zeHGW-Werten zeigte, dass zwar der allergrößte Teil der zeHGW-Werte über den gemessenen höchsten Grundwasserständen lag oder ähnlich war, aber für eine Reihe von Grundwassermessstellen der HGW durch die Modellsimulation nicht erreicht wurde. Die Gründe für Letzteres können sein:

- a) einzelne zwangsläufig bei der Modellierung zu treffende Annahmen (z. B. hinsichtlich der Struktur oder der Grundwasserneubildung) sind örtlich nicht richtig,
- b) benutzte Daten (z. B. Grundwasserstandsmessungen) sind fehlerbehaftet,
- c) Eingabefehler bei der Modellierung (Bei dem äußerst großen Umfang der verwendeten Daten ist so etwas natürlich nie ganz auszuschließen.),
- d) temporäre künstliche Aufhöhungen des Grundwassers durch Einleitungen oder andere Einflüsse in der Vergangenheit, z. B. Wiederversickerung von gehobenem Grundwasser bei Wasserhaltungsmaßnahmen oder extreme Spiegelanhebungen der Vorflutgewässer, die entweder zukünftig nicht zu erwarten sind oder die einer wasserbehördlichen Erlaubnis nach Prüfung ihrer Verträglichkeit auf das weitere Umfeld bedürfen; solche erhöhten Grundwasserstände fallen nicht unter die zeHGW-Definition und sind daher nicht auf der zeHGW-Karte zu berücksichtigen und
- e) einer Kombination mehrerer Ursachen.

Nur im Fall d) ist die Überschreitung des berechneten Wertes durch den HGW richtig und nicht im Widerspruch zum zeHGW-Modell.

Es folgte eine – im Übrigen sehr zeitaufwändige – Plausibilitätsprüfung der modellberechneten Grundwasserhöhenverteilung, vor allem natürlich dort, wo Überschreitungen durch die gemessenen Grundwasserstände festgestellt wurden. Ausgangspunkt hierfür war in der Regel eine Analyse der Grundwasserganglinien am Ort der Abweichung aber auch in dessen Umgebung. Ferner wurde eine Vielzahl von unterschiedlichen Daten auf mögliche Fehler überprüft. Dabei zeigten sich tatsächlich einige eindeutige Fehler (z. B. bei den Grundwasserstandsdaten, bezogen auf den Gesamtumfang dieser Daten jedoch nur recht wenige). Relativ viele Überschreitungen des modellberechneten zeHGW durch in der Vergangenheit gemessene Grundwasserstände konnten jedoch dem Punkt d) zugeordnet werden.

Dazu folgendes Beispiel:

Der Anfang des 20. Jahrhunderts gebaute Teltowkanal dient nicht zuletzt der Entwässerung der südlichen Teltow-Hochfläche und führt das Wasser Richtung Unterhavel ab. Im Zweiten Weltkrieg, vor allem gegen Ende des Krieges im Frühjahr 1945, sind fast alle Brücken über den Teltowkanal zerstört worden. Die in den Kanal gestürzten Trümmer führten zu einer Querschnittseinengung und damit zu einer Anhebung des Kanalspiegels, was dann eine Anhebung des Grundwassers in der weiteren Umgebung zur Folge hatte. Da es etliche Jahre dauerte, bis die Trümmer, u. a. auch gesunkene Schiffe, beseitigt wurden, stellte sich meist erst in den frühen 1950er Jahren der normale Kanalspiegel und damit normale Grundwasserstand wieder ein. Als Beispiel für eine solche Überschreitung zeigt die Ganglinie der Grundwassermessstelle 710 in Berlin-Zehlendorf, deren HGW im September 1950 registriert wurde (Abb. 7). Der zeHGW wird hier zwar überschritten, was aber durchaus richtig ist, da mit einer Wiederholung der Situation, die den HGW hervorgerufen hat, nicht nur nicht zu rechnen ist, sondern sie auch gar nicht möglich ist.

Nachdem HGW-Werte, die zwar über dem modellberechneten zeHGW lagen, aber als nicht zu berücksichtigend erkannt und aus dem Modell als Vergleichswerte entfernt worden waren, blieben noch einige Grundwassermessstellen übrig, an denen der Modellwert unter dem HGW lag, ohne dass dafür plausible Gründe zu erkennen waren. Diese Bereiche wurden als Mängel im Modell beurteilt. Im Rahmen einer Nachkalibrierung des Modells durch örtliche Änderung der z. T. geschätzten Durchlässigkeits- oder Grundwasserneubildungsverteilung, z. T. auch der lokalen Vorflutbedingungen gelang es, auch diese gemessenen HGW durch die berechnete Potenzialverteilung abzudecken. Lediglich an einer Stelle mit unklarer hydrogeologischer Situation wurde das nicht erreicht, weshalb in der Kartendarstellung dort aus Sicherheitsgründen ein entsprechend der Grundwasserstandsdaten abgeschätzter zeHGW angegeben ist.

Das Diagramm der Abbildung 8 lässt erkennen, dass die berechnete Potenzialhöhenverteilung nach Abschluss der Nachkalibrierung sämtliche zu berücksichtigende gemessene höchste Grundwasserstände abdeckt: Alle für die Grundwassermessstellen stehenden Punkte, differenziert nach ihrer Filterlage in den einzelnen Modellschichten, liegen links oberhalb der durchgezogenen blauen Linie (zeHGW = HGW). Der eingangs erwähnte Umstand, dass die Grundwasserbeobachtung innerhalb der durch die Wasserwerke erzeugten Senktrichter meist erst nach Beginn der Grundwasserförderung aufgenommen wurde, zeigt sich im Diagramm dadurch, dass viele Punkte weit oberhalb der Linie zeHGW = HGW liegen: Der gemessene höchste Grundwasserstand ist an diesen Messstellen nicht natürlich, sondern durch die Grundwasserentnahmen mitunter sehr stark beeinflusst.

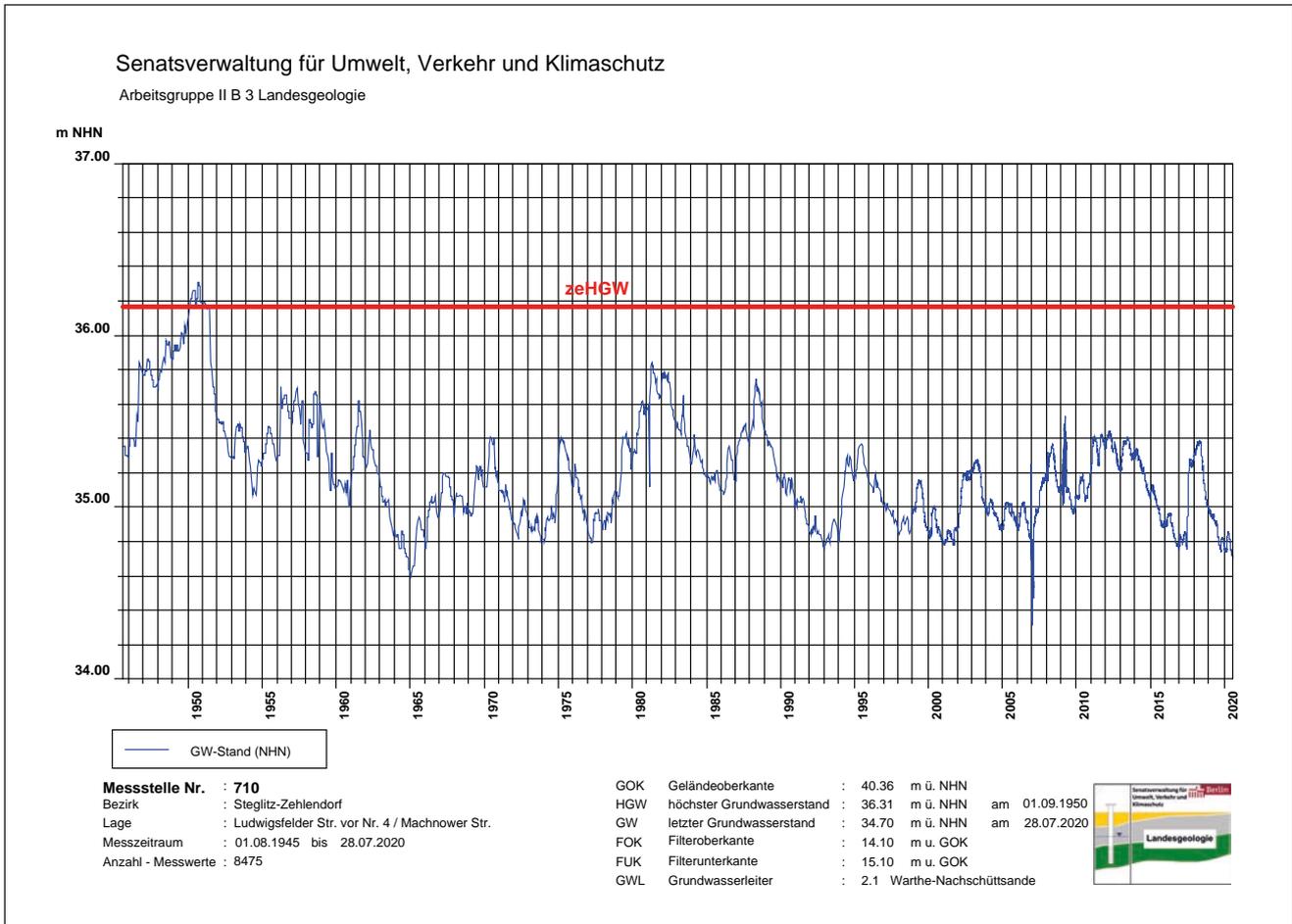


Abb. 7: Ganglinie der Grundwassermessstelle 710 mit eingetragenem zeHGW.

Fig. 7: Groundwater hydrograph of the observation well 710 with marked exp. HGWL.

Die Grundwasserpotenzialverteilung der obersten Modellschicht (L 1), dargestellt durch Linien gleicher Grundwasserpotenzialhöhe, konnte damit als Karte des zu erwartenden höchsten Grundwasserstandes verwendet werden.

#### 4 Kartenbeschreibung

Die zeHGW-Karte für die Teltow-Hochfläche und die Nauener Platte wurde mit der bereits vorhandenen Karte für das Urstromtal und das Panketal zusammengeführt und im Jahr 2018 als Grundwasserhöhenlinien in Metern über NHN im Abstand von 0,1 m im Internet veröffentlicht. Für den bereits in der Abb. 3 für den aktuellen Zustand im Mai 2018 gewählten Ausschnitt ist der zeHGW in vereinfachter Form in der Abb. 9 als Grundwassergleichen im Abstand von 0,5 m dargestellt. Die Vorflutwirkung von Spree und insbesondere der Havel sind wieder gut erkennbar. Erwartungsgemäß zeigen sich aber erheblich höhere Grundwasserstände und ein deutliches geringeres Grundwassergefälle. Im Unterschied zur Situation vom Mai 2018 fehlen die ausgedehnten Absenkrichter im Bereich der Fördergalerien der Wasserwerke, womit das plausible Ergebnis der zeHGW-Karte bestätigt wird.

Bei der Nutzung der zeHGW-Karte ist zu berücksichtigen, dass im Urstromtal und im Panketal überwiegend ungespannte Verhältnisse im oberen Grundwasserleiter vorherrschen, d. h. in der Karte wird zumeist die Höhe der Grundwasseroberfläche abgebildet. In gespannten Bereichen, die häufig auf der Teltow-Hochfläche und Nauener Platte anzutreffen sind, wird dagegen die Druckfläche des Hauptgrundwasserleiters dargestellt. Hier kann sich über den bindigen Deckschichten lokal und ggf. auch nur temporär oberflächennahes, im Allgemeinen als Schichtenwasser bezeichnetes Grundwasser bilden, das insbesondere bei bautechnischen Fragen zusätzlich von Bedeutung ist. Auf die Verantwortlichkeit des Bauherrn, seiner Planer und geotechnischen Sachverständigen, den zeHGW in Bezug auf das geplante Vorhaben sachgerecht zu berücksichtigen, ist in diesem Zusammenhang bereits vielfach hingewiesen worden.

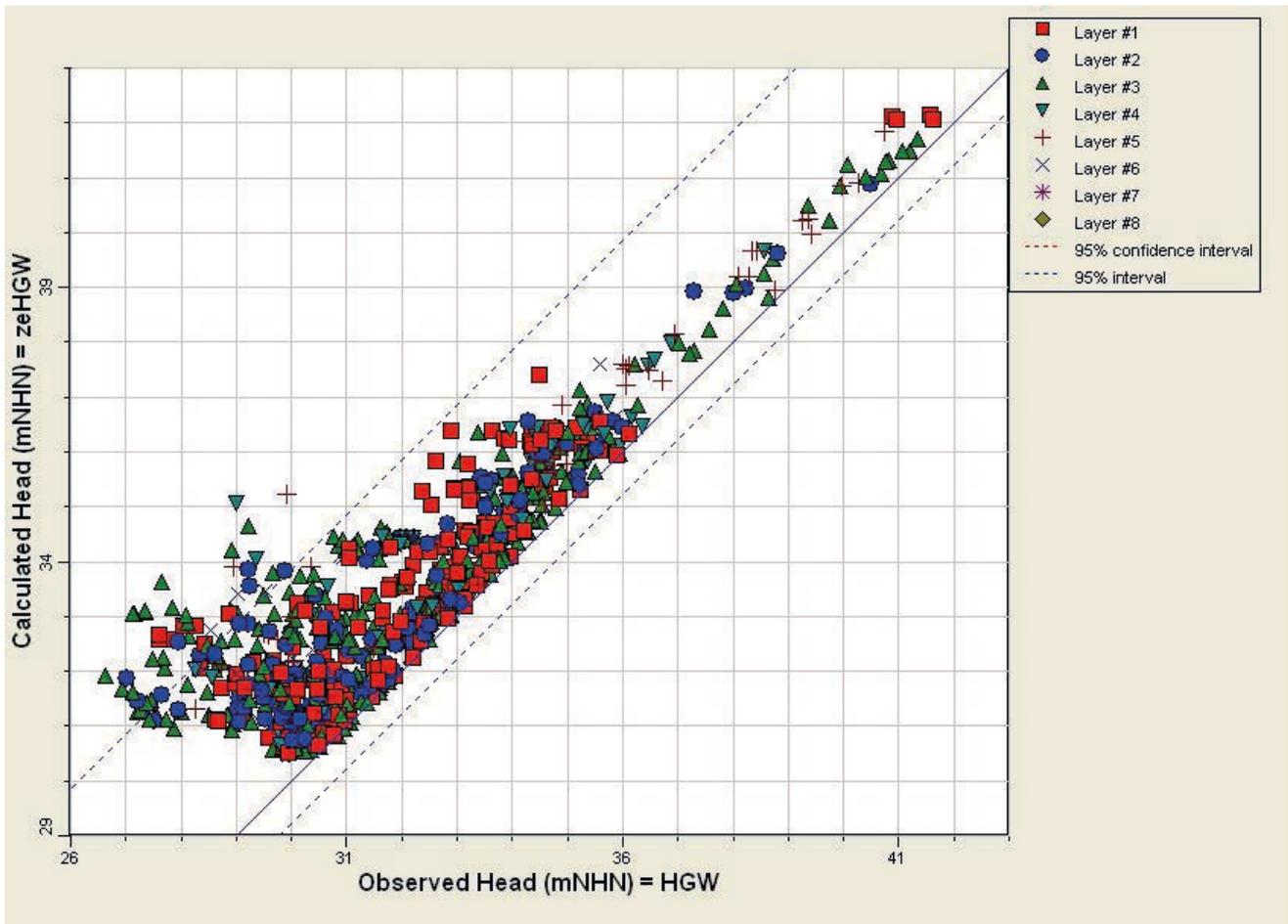


Abb. 8: Zusammenhang zwischen dem beobachteten HGW und dem modellierten zeHGW (911 Grundwassermessstellen, verfiltert in den Modellschichten L 1 bis L 6) nach Abschluss der Modellkalibrierung.

Fig. 8: Correlation between the observed HGWL and the modeled exp. HGWL after completion of the calibration (911 observation wells with well screens in the layers L 1 to L 6).

## 5 Ausblick

Mit der Erweiterung um die Teltow-Hochfläche und die Nauener Platte im Jahr 2018 deckt die online verfügbare Karte des zu erwartenden höchsten Grundwasserstandes nun etwa drei Viertel der Fläche Berlins ab. Damit ist die Arbeitsgruppe Landesgeologie dem Ziel, flächenhaft eine qualifizierte Information zum zeHGW des Panketalgrundwasserleiters und des Hauptgrundwasserleiters für das Land Berlin zu erarbeiten und als Serviceleistung inklusive ausführlicher Erläuterung online gebührenfrei bereit zu stellen, sehr erfolgreich nahegekommen. Die noch fehlende zeHGW-Karte für die nordöstlich des Urstromtales anschließenden Barnim-Hochfläche ist bereits im internen Prüfungsprozess, so dass zukünftig das gesamte Land Berlin abgedeckt werden kann.

In diesem Zusammenhang ist auf einen relevanten Synergieeffekt für den Datenbestand der Arbeitsgruppe hinzuweisen, denn durch die umfangreichen Aufarbeitungen insbesondere der Informationen zu den Grundwasserständen wurde eine systematische Prüfung und ggf. Korrektur

der Datenbasis des Landesgrundwasserdienstes realisiert. Andererseits wird durch die ausführliche Interpretation von Aufschluss- und Messdaten das Verständnis für die hydrogeologischen Strukturen aktualisiert.

Selbstverständlich ist, dass die zeHGW-Karte fortlaufend mit den Ergebnissen der Grundwasserdatenbank abgeglichen und entsprechend neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse geprüft wird. Dadurch können beispielsweise Änderungen der geohydraulischen Randbedingungen infolge des Klimawandels berücksichtigt werden und die Notwendigkeit einer Aktualisierung der Karte erkannt werden.

## Zusammenfassung

Die Karte des zu erwartenden höchsten Grundwasserstandes (zeHGW), die insbesondere für das Bauwesen eine relevante Planungsgrundlage darstellt, wurde um die südwestlich des Panketals und Urstromtales anschließende Teltow-Hochfläche und Nauener Platte erweitert. Das bereits für die zeHGW-Karte des Urstromtals eingesetzte numerische

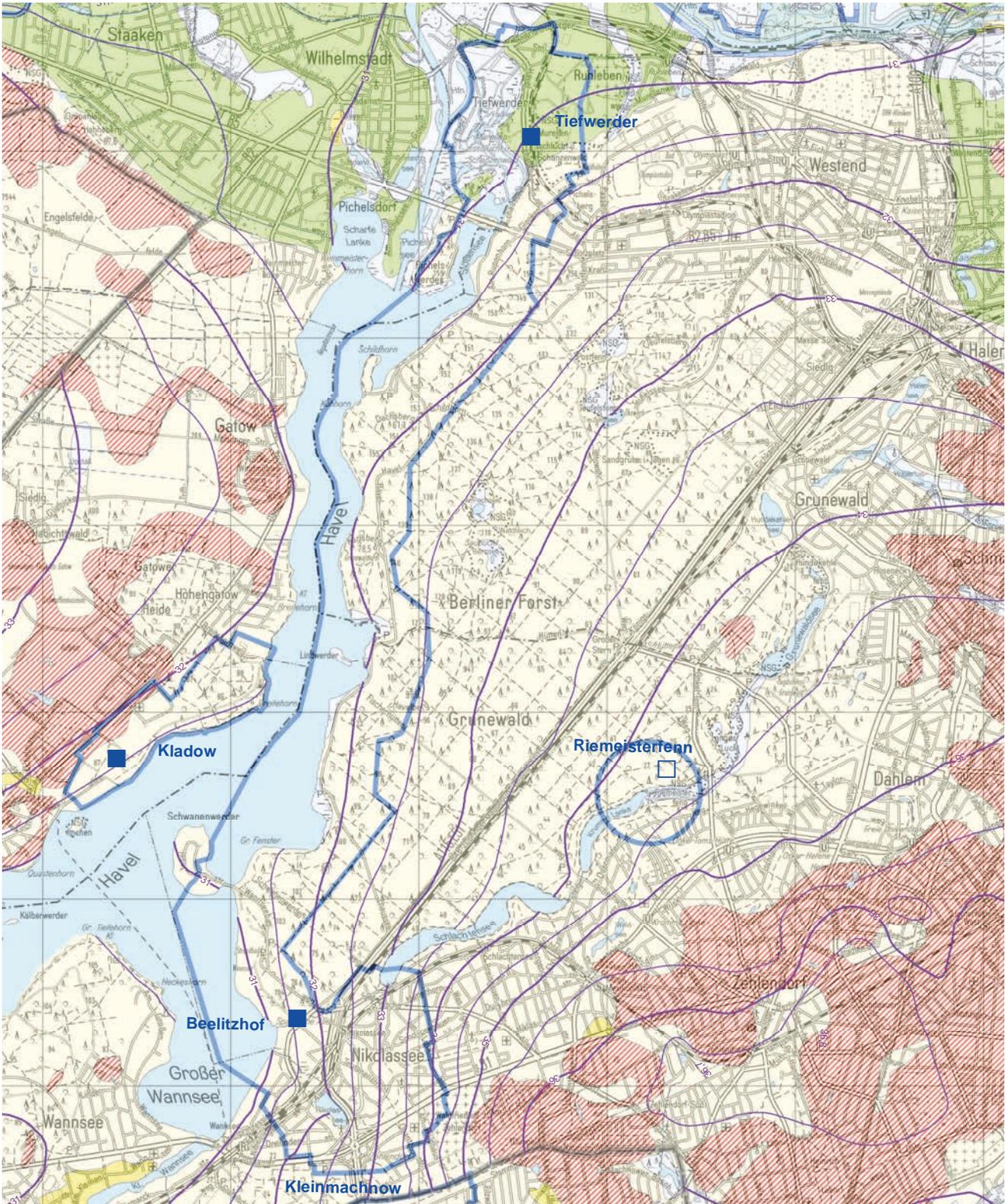


Abb. 9: Ausschnitt aus der zeHGWL-Karte. Violett sind die Grundwassergleichen des Hauptgrundwasserleiters in m ü NHN und als blaue Quadrate sind die Standorte der Wasserwerke dargestellt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen 2018). Hintergrundkarte ist die geologische Skizze (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen 2013).

Fig. 9: Section of the map of the exp. HGWL. The groundwater isolines of the main aquifer in m a. s. l. are coloured violet. The locations of the waterworks are represented as blue squares (Senate Department for Urban Development and Housing 2018). The background map shows the geological outline (Senate Department for Urban Development and Housing 2013).

Grundwasserströmungsmodell wurde hierzu entsprechend der differenzierteren hydrogeologischen Struktur der Hochfläche vertikal in acht Layer untergliedert, kalibriert und verifiziert. Unter Berücksichtigung erhöhter Grundwasserneubildungsraten, erhöhter Pegelstände der Oberflächengewässer und des Sachverhaltes, dass weder Grundwasserentnahmen noch -einleitungen stattfinden, wurden die Grundwasserpotenzialhöhen berechnet. Nach einer intensiven Plausibilitätsprüfung erfolgte eine Zusammenführung mit der bereits vorhandenen zeHGW-Karte und Veröffentlichung als aktualisierte Serviceleistung der Berliner Landesgeologie 2018 im Internet. Während in den Bereichen mit z. T. intensiver Grundwasserbewirtschaftung für die Trinkwassergewinnung bisher nur Informationen zu gemessenen, anthropogen beeinflussten Grundwasserständen erteilt wurden, ist mit den Aussagen zu den modellberechneten Grundwasserständen nun auch im Bereich der großräumigen Absenktrichter der Wasserwerke auf der Teltow-Hochfläche und Nauener Platte ein erheblicher Qualitätszuwachs der Informationen gegeben.

### Summary

The map of the expected highest groundwater level (exp. HGWL) which provides important information for the building and construction industry was now extended in the Southwest of the Panke Valley and Berlin Glacial Valley by the area of the Teltow Plateau and the Nauen Plateau. For this purpose a mathematical model of the groundwater flow, previously used for the calculation of the map of the exp. HGWL of the Berlin Glacial valley, was taken. According to the more varied hydrogeological structures of the Plateau the model was subdivided into eight layers, calibrated and validated. The groundwater level was calculated taking into account an increased groundwater recharge, increased levels of the surface waters and the situation that no groundwater extraction and discharge happens. After a detailed validity check the created and the existing maps were joined and the result was published on the internet in 2018 as a service of the Berlin Geological Survey. So far, in areas with partly strong groundwater management there was only detailed information given about the measured, anthropogenically influenced groundwater levels. Now the model calculated groundwater levels manifest a significant increase of quality of our information especially referring to the areas of the great drawdown cones of the waterworks.

### Literatur

- BWK, Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e. V. (2009): Ermittlung des Bemessungsgrundwasserstandes für Bauwerksabdichtungen. – BWK-Regelwerk, Merkblatt BWK-M8, Selbstverlag Sindelfingen
- Hörmann, U. & H. Verleger (2016): Eine Karte des zu erwartenden höchsten Grundwasserstandes für das Panketal in Berlin. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. 23, 1/2, S. 3-9

- Limberg, A., Hörmann, U. & H. Verleger (2010): Modellentwicklung zur Berechnung des höchsten Grundwasserstandes im Land Berlin. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. 17, 1/2, S. 23–37
- Limberg, A., Hörmann, U. & H. Verleger (2015): Berlins Grundwasserauskünfte jetzt online. Eine Dienstleistung der Landesgeologie der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt für das Bauwesen. – Baukammer Berlin 3, S. 9–21
- Limberg, A. & J. Thierbach (2002): Hydrostratigrafie von Berlin – Korrelation mit dem Norddeutschen Gliederungsschema. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. 9 1/2, S. 65–68
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen (2013): Geologische Skizze (Ausgabe 2013), Karte 01.17, Umweltatlas Berlin. – <https://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/i117.htm> (abgerufen: 12.08.2020)
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen (2018): Zu erwartender höchster Grundwasserstand (zeHGW), (Ausgabe 2018), Karte 02.19, Umweltatlas Berlin. – <https://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/i219.htm> (abgerufen: 12.08.2020)
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen (2019): Grundwasserhöhen des Hauptgrundwasserleiters und des Panketalgrundwasserleiters, (Ausgabe 2018), Karte 02.12, Umweltatlas Berlin. – [https://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/din\\_212.htm](https://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/din_212.htm) (abgerufen: 12.08.2020)
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen (2020): Geologische Schnitte (Umweltatlas). - [http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp?loginkey=showMap&mapId=wmsk\\_01\\_18\\_GeolSchnitte@senstadt](http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp?loginkey=showMap&mapId=wmsk_01_18_GeolSchnitte@senstadt) (abgerufen 26.08.2020)

### Anschrift der Autoren

- Ulrike Hörmann  
Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz  
Landesgeologie  
Brückenstr. 6, 10179 Berlin  
[ulrike.hoermann@senuvk.berlin.de](mailto:ulrike.hoermann@senuvk.berlin.de)
- Prof. Dr. Hartmut Verleger  
Büro für Hydrogeologie und Geotechnik  
Niedstr. 21, 12159 Berlin  
[drverleger@aol.com](mailto:drverleger@aol.com)

## Buchbesprechung

W. LIESSMANN & J. GRÖBNER (2020): **Die Mineralien des Harzes – Entdecken – Sammeln – Bestimmen**

1. Auflage, 520 Seiten

Quelle & Meyer Verlag, Wiebelsheim

ISBN 978-3-494-01826-3

Preis 24,95 €

Die Region des Harzes ist durch eine große Vielfalt geologischer Strukturen gekennzeichnet, die sich über lange erdgeschichtliche Zeiträume formten. Der Reichtum an Bodenschätzen ist legendär und bildete die Grundlage für eine über 2000-jährige bergmännische Gewinnung. Das dabei interessierende Rohstoffspektrum folgte dem Trend der jeweiligen Zeit. Während zunächst Kupfer- und Silbererze den Schwerpunkt des Bergbaus bildeten, folgten in den späteren Jahrhunderten Blei-, Zink-, Eisen- und Manganerze. Auch Minerale wie Fluorit, Baryt und Anhydrit sowie Hartgesteine als Rohstoffe für die chemische und Montanindustrie sowie die Bauwirtschaft waren von wirtschaftlichem Interesse. Heute ist der untertägige Bergbau vollständig erloschen, die Erzlagerstätten weitestgehend erschöpft. Lediglich Hartgesteine und Anhydrit werden noch in großen Steinbrüchen gewonnen. Museen, Schaubergwerke und alte Halden lassen aber die erfolgreiche Bergbaugeschichte der Region erlebbar werden.

Im Ergebnis der Ausbeutung der Lagerstätten und ihrer dabei einhergehenden Erforschung wurde die große mineralogische Vielfalt der angetroffenen Erze deutlich. Aufgrund der spezifischen Bildungsbedingungen liegen viele Minerale als hervorragend ausgebildete Kristalle vor, die von den Bergleuten geborgen wurden und schon frühzeitig die Grundlage für Sammlungen und Studien bildeten. Zahlreiche lokale Ortsbezeichnungen im Harz wurden namensgebend für die neuentdeckten Mineralien.

Die Autoren Wilfried Ließmann und Joachim Gröbner sind als langjährige Mitarbeiter der TU Clausthal-Zellerfeld profunde Kenner der Geologie und Mineralogie sowie der Bergbaugeschichte der Region. Die aktuelle Publikation richtet das Augenmerk auf die Mineralien, die im Hauptteil des Buches beschrieben und durch zahlreiche Fotos illustriert werden.

Das Buch versteht sich als „Mineralienbuch“, als Feldführer für Einsteiger und fortgeschrittene Mineralienfreunde. Es besitzt ein handliches Format von 12 x 19 cm und ist systematisch und übersichtlich gegliedert.

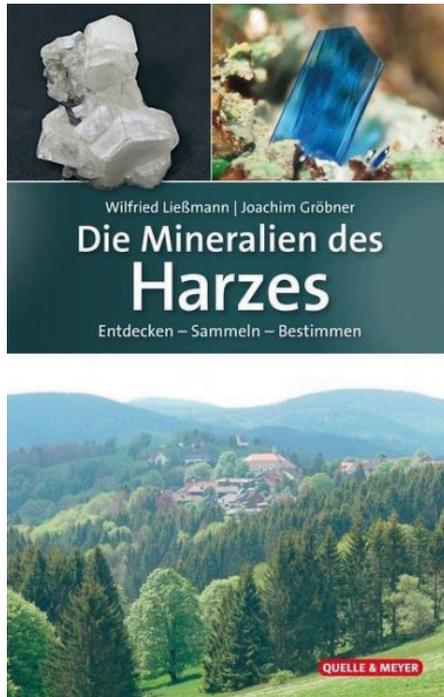
Als Grundlage zum Verständnis der Mineralbildung beinhaltet es eine kurze Zusammenfassung zur geologischen Entwicklung und zur Lagerstättenbildung der Region. Die Karten der Reviere, Seigerrisse und paragenetischen Schemata sind dem Format des Buches geschuldet aber sehr klein gehalten und dadurch teilweise schwer lesbar. Der Bezug der Revierkarten zum Hauptteil des Buches erschließt sich dem Leser erst auf den zweiten Blick. Die umfangreichen Verweise auf historische und moderne Literatur geben vielfältige Anregungen, sich tiefergehend mit der Geologie der Lagerstätten auseinanderzusetzen.

Anhand der Kurzeinführung zur Mineralbestimmung nach äußeren Kennzeichen sowie zu den Mischkristallbildungen werden die Grundlagen zur Mineraldiagnostik auch für Einsteiger nachvollziehbar. Die tabellarische Übersicht zu den Typlokalitäten von ausgewählten Mineralien unterstreicht die Bedeutung dieser Mineralien in der mineralogischen Forschung.

Der Hauptteil des Buches beinhaltet die Beschreibung von über 350 Mineralien der Lagerstätten des Harzes, die durch qualitativ hochwertige Fotografien illustriert werden. Im jeweiligen Erläuterungstext findet man in kurzgefasster Form Angaben zum Chemismus, zum Kristallsystem, zum Erscheinungsbild sowie typischen Fundorten. Dabei werden sowohl große Schaustücke, als auch Micromounts präsentiert, d. h. die Stücke, die von den Lesern mit etwas Glück auch gefunden werden können. Systematisch werden elementspezifisch in Abhängigkeit von den Bildungsbedingungen Primär- und Sekundärminerale der Erz- und Spatlagerstätten abgehandelt. Auch die Minerale der Kupferschiefer- sowie Borat- und Salzlagerstätten des Zechsteingürtels wurden berücksichtigt. Die im Anhang enthaltene tabellarische Übersicht zu Mineralfundorten bietet eine Anregung zur praktischen Beschäftigung mit dem Thema.

Das Buch zeigt die Schönheit der Mineralien einer Region, die durch eine über 2000 Jahre währende bergbauliche Gewinnung geprägt ist. Es ergänzt eine Reihe von bisher erschienenen Werken zu den Gesteinen, zur Lagerstättengeologie sowie zur Bergbaugeschichte des Harzes und kann interessierten Mineralienfreunden, die sich näher mit dieser Region im Herzen Deutschlands beschäftigen wollen, empfohlen werden.

Gerhard Hotzan



Brandenburg. geowiss. Beitr.	Cottbus	27 (2020), 1/2	S. 75–86	8 Abb., 15 Zit.
------------------------------	---------	----------------	----------	-----------------

## Geoökologie und Böden von Standorten an der Pommerschen Haupteisrandlage zwischen Chorin und Grumsin

### Geocology and soils of sites in the area of the Pomeranian terminal moraine between Chorin and Grumsin

AXEL HEISE UND SIXTEN BUSSEMER

#### Einleitung und Problemstellung

Die vorliegende Studie widmet sich vor allem naturnahen Standorten im Choriner Endmoränenbogen aus der Sicht geoökologisch-bodengeographischer Feldforschung. Im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin wurden dafür ausgewählte Standorte entlang von repräsentativen Transekten mit Hilfe von klassischen Feldmethoden analysiert. Neben der allgemeinen naturräumlichen Beschreibung umfassten diese Arbeiten auch Parameter der Substratausprägung und Bodenbildung unter besonderer Beachtung der Humusform. Darüber hinaus wurde die Biomasse vor allem von Buchenwäldern erfasst und ausgewertet. Abschließend erfolgte deren Darstellung in Form von Transekten.

Der weitere Betrachtungsraum wird im Westen durch den Amtssee bei Chorin sowie im Osten durch die Niederungsebene des Plagefenns begrenzt. In einer genaueren geoökologischen Dimension werden in Testarealen unmittelbar am Amtssee sowie am Plagefenn neben den Boden- und Substratausprägungen auch kausale Aspekte der Baumarten wie auch Humusformen dargestellt.

Methodisch wurde der Untergrund mit Hilfe von Rammkernsondierungen abgebohrt, der Bodenbereich dann im Profil nach AG BODEN (2005) angesprochen. Die Biomasseindikatoren wurden in Anlehnung an GRUNDNER & SCHWAPPACH (1922) ermittelt.

#### Naturräumliche Einordnung

##### Allgemeingeographische Beschreibung

Das Biosphärenreservat Schorfheide wird im Osten vom Uckermärkischen Hügelland geprägt, wobei das Relief vor allem aus von Endmoränen überprägten Moränenplatten aufgebaut ist (SCHOLZ 1962). Im Bereich des Uckermärkischen Hügellandes wird das Substrat hauptsächlich aus Weichselkaltzeitlichen Ablagerungen wie Geschiebelehme-/mergel und Schmelzwassersanden aufgebaut. Im Bereich der

Pommerschen Eisrandlage speziell treten verbreitet lessivierte Braunerden auf, die bei sandigem Untergrund auch podsoliert sein können. Auf den Geschiebelehmflächen des Uckermärkischen Hügellandes haben sich weit verbreitet Fahlerden entwickelt, die häufig mit Braunerden vergesellschaftet sind. Je nach Grundwasserbeeinflussung oder Sickerwasserstauung treten häufig auch Vergleyungs- oder Pseudovergleyungsmerkmale hinzu. Unter der gegebenen Boden- und Substratbeschaffenheit und einem subkontinental getönten Klima wird die potentiell natürliche Baumartenzusammensetzung durch die Rotbuche dominiert (Jahresniederschlag: 527 mm, mittlere Jahrestemperaturamplitude zwischen wärmsten und kältesten Monat 18,8 K nach LUTHARDT, M. E. et al. 2004). Im Umfeld der Endmoränenwälle werden die potentiell natürlichen Vegetationsgesellschaften durch Flattergras- und Perlgras-Buchenwälder bestimmt. Auf den Grundmoränenflächen des Uckermärkischen Rücklandes dominieren Hainrispengras- Hainbuchenwälder, die in Bereichen der Schmelzwasserlagen auch in Straußgras- Traubeneichen- Buchenwälder übergehen. Insbesondere im Umfeld der Pommerschen Eisrandlage konnten sich an den stark relieffierten und nur schwer bewirtschaftbaren Standorten teilweise nahezu unberührte Buchenaltbestände erhalten, die ihre flächenhaft größte Ausbreitung im Schutzgebiet „Grumsiner Forstes/Redernswalde“ finden, das zudem Bestandteil des UNESCO-Weltkulturerbes „Alte Buchenwälder und Buchenurwälder der Karpaten und anderer Regionen Europas“ ist.

#### Geologisch-morphologische Grundlagen

Als wesentliches Strukturelement der Landschaft im Nordosten Brandenburgs durchzieht der Choriner Endmoränenbogen mit einem girlandenartigen Verlauf das Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin von Südost und Nordwest. Während der Eisvorstoß- und Eisrückschmelzphasen schmolzen im Bereich der Gletscherstirn insbesondere diffus angeordnete Schmelzwassersande/-kiese und Blockpackungen aus und schütteten Endmoränenwälle auf. Beim Rückschmelzen stauten sich im Rückland der Endmoräne

gewaltige Wassermassen an, die vor allem bei Chorin durchbrachen und eine deutliche Schmelzwasserrinne einfurchten (SCHLAAK 1999). Die Endmoränenlandschaft zwischen der Durchbruchsstelle mit Amtssee und dem Plagefenn zeichnet sich durch einen außergewöhnlich vielfältigen Formenschatz aus. Der geologisch-morphologische Kartenfundus zeigt für den Südost nach Nordwest bogenartig verlaufenden Lobus eine Anreicherung von Blockpackungen, die in sandig-kiesige bis schluffig-mergliche Grundsubstanz eingelagert sind (zuletzt SCHLAAK & SCHOKNECHT 2017). Auf der nördlich bis östlich anschließenden Abdachung treten verstärkt Ablagerungen aus Geschiebemergel, -lehm in den Vordergrund, die in Folge des glazialen Eisdrucks auch Lagerungsstörungen aufweisen können. Weiterhin wurde auch das Vorkommen von eisrandnahen Spaltenfüllungen angesprochen. Im weiteren Verlauf des Rücklandes treten die Geschiebemergellagen an der Oberfläche nur noch inselhaft auf und werden verbreitet durch wallartig aufgeschüttete Schmelzwassersande überlagert. In Richtung des Amtssees senkt sich bei gleichbleibender Schichtenfolge die Geländeoberfläche auf eine Höhe von ca. 42 m NHN ab. Als weiteres Landschaftselement treten im Bereich der stark reliefierten Endmoränenwälle kleinräumige Niederungen hinzu, die teilweise durch Kesselmoore, wie die „Teufels-Kuten“, aufgefüllt werden. Die Oberflächengestalt des Betrachtungsraumes wird in weiten Bereichen durch eine hohe Reliefenergie bestimmt. Zwischen den Erhebungen der Endmoränenwälle, die oft Höhen von über 90 m NHN erreichen und den angrenzenden Niederungen werden häufig Höhenunterschiede von 40 Metern erreicht.

### Geoökologischer Querschnitt durch die Pommersche Eisrandlage bei Chorin

Die vorangehend diskutierten geologischen Einheiten wurden mittels Rammkernsondierungen und Bodenprofilansprachen hinsichtlich ihrer Lagerungsverhältnisse sowie Bodenbildungen entlang eines Querschnittes durch den Choriner Endmoränenbogen genauer untersucht (Abb. 1). Der geoökologische Querschnitt (Abb. 2) ist ausgehend vom Amtssee auf einem ersten Abschnitt bei mäßigem Geländeanstieg von einem Kiefern-Mischwaldforst sowie einem parallel verlaufenden Eichen-Buchen-Hainbuchenmischwald bestockt. Das bodenbildende Substrat wird zumeist aus einem sandigen Geschiebedecksand aufgebaut, der sich überwiegend periglazial in liegende Schmelzwassersande eingearbeitet hat. An den Bohrpunkten wurde in einer Tiefe von etwa einem Meter eine ca. 50 cm bis 90 cm mächtige Moräne angesprochen, die einen ungewöhnlich hohen Sandanteil in Verbindung mit kleineren Beimengungen aus Schluffen und Tonen aufweist. Unterschiede bestehen hingegen in der weiteren Schichtenabfolge. Nahe des Amtssees sind ab einer Tiefe von ca. 2 Metern 225 cm mächtige kalkhaltige Schmelzwassersande zwischengelagert. Ab einer Tiefe von 4,15 m setzt bis zur Basis bei 5 m Geschiebemergel ein. Im zweiten Bohrprofil, welches sich etwa sechs Höhenmeter oberhalb der ersten Bohrung befin-

det, fehlt hingegen die Schmelzwasserschichtung. Es setzt stattdessen ab einer Tiefe von 1,5 m ein Geschiebelehm ein, der sich ab 2,35 m als steinerner Geschiebemergel bis zur Basis bei 7 m Tiefe fortsetzt. Im Hangenden des ersten Bohrprofils wurden zudem 25 cm mächtige äolische Sande angesprochen, die den Geschiebedecksand überlagern. In den gewöhnlich nährstoffarmen Flugsanden entwickelte sich ein Podsol, wobei die saure und schwer abbaubare Nadelstreu des umgebenden Kiefern-Mischwaldes offenbar zu einer weiteren Intensivierung standörtlicher Podsolierungsprozesse beitrug. Die Bodenbildung des zweiten Profils zeigt eine Braunerde. In dem homogen gemischten Geschiebedecksand hat sich überwiegend ein Verbraunungshorizont mit Verlehmungsmerkmalen eingearbeitet. Der humose Oberboden zeigt Auswaschungsmerkmale in Form einer gräulichen Färbung an, was die oben beschriebene rezente Grundtendenz bestätigt.

Im weiteren Verlauf nähert sich das Transekt den steil aufragenden Endmoränenwällen. Kleinräumige Senken werden hier durch Übergangsmoore wie die „Teufels-Kuten“ aufgefüllt. Entsprechend der Hydrogenese wird jener Moortyp auch als ein Kesselmoor bezeichnet. Aus genetischer Sicht erfolgte hier zumeist nach initialer Versumpfung der Hohlform eine Stillgewässerbildung mit Mudden. Mit weiter fortschreitender Verlandung und einsetzendem Torfwachstum erfolgt eine sukzessive Abdichtung der Hohlform mit zunehmender Abkopplung vom Grundwasser, sodass eine Wasserspeisung überwiegend aus oberflächlich zusammenlaufendem Mineralbodenwasser erfolgt (vgl. auch LUTHARDT, V. et al. 2015).

Die Substrat- und Bodenansprache nahe der „Teufels-Kuten“ zeigte ein ähnliches Bild. Unterhalb des bodenbildenden Geschiebedecksandes lagern 160 cm mächtige Schmelzwassersande, die Oxidationsflecken aufweisen. In einer Tiefe von 1,84 m setzt eine entkalkte Fließmoräne ein, die ab 2,46 m durch einen Geschiebemergel abgelöst wird. Dieses bodenbildende Substrat führt zur Braunerdebildung. Der hangende neun Zentimeter mächtige Ackerpflughorizont bildet eine Durchmischung aus humosem Oberboden und liegendem Geschiebedecksand und deutet auf zurückliegenden Ackerbau hin.

Am Oberhang der Nordwestflanke des Choriner Endmoränenbogens verläuft entlang eines gepflasterten Weges die Westgrenze des Naturschutzgebietes Plagefenn. Ein Aufschluss am Wegrand zeigt mit dem Mischbodentyp der Braunerde-Fahlerde eine in derartigen Geschiebelehmungen weit verbreitete Bodenbildung (Abb. 3). Unterhalb der homogenen Durchmischung und einheitlichen Farbgebung im hangenden Verbraunungshorizont lässt sich im kalkfreien Bereich bis 87 cm Tiefe eine Ton-Auswaschungs-Anreicherungsdynamik beobachten.

Auf dem weiteren Abschnitt in Richtung der Plageberge auf der Ostflanke des Choriner Endmoränenbogens verändert sich die Baumartenzusammensetzung und es dominiert flä-

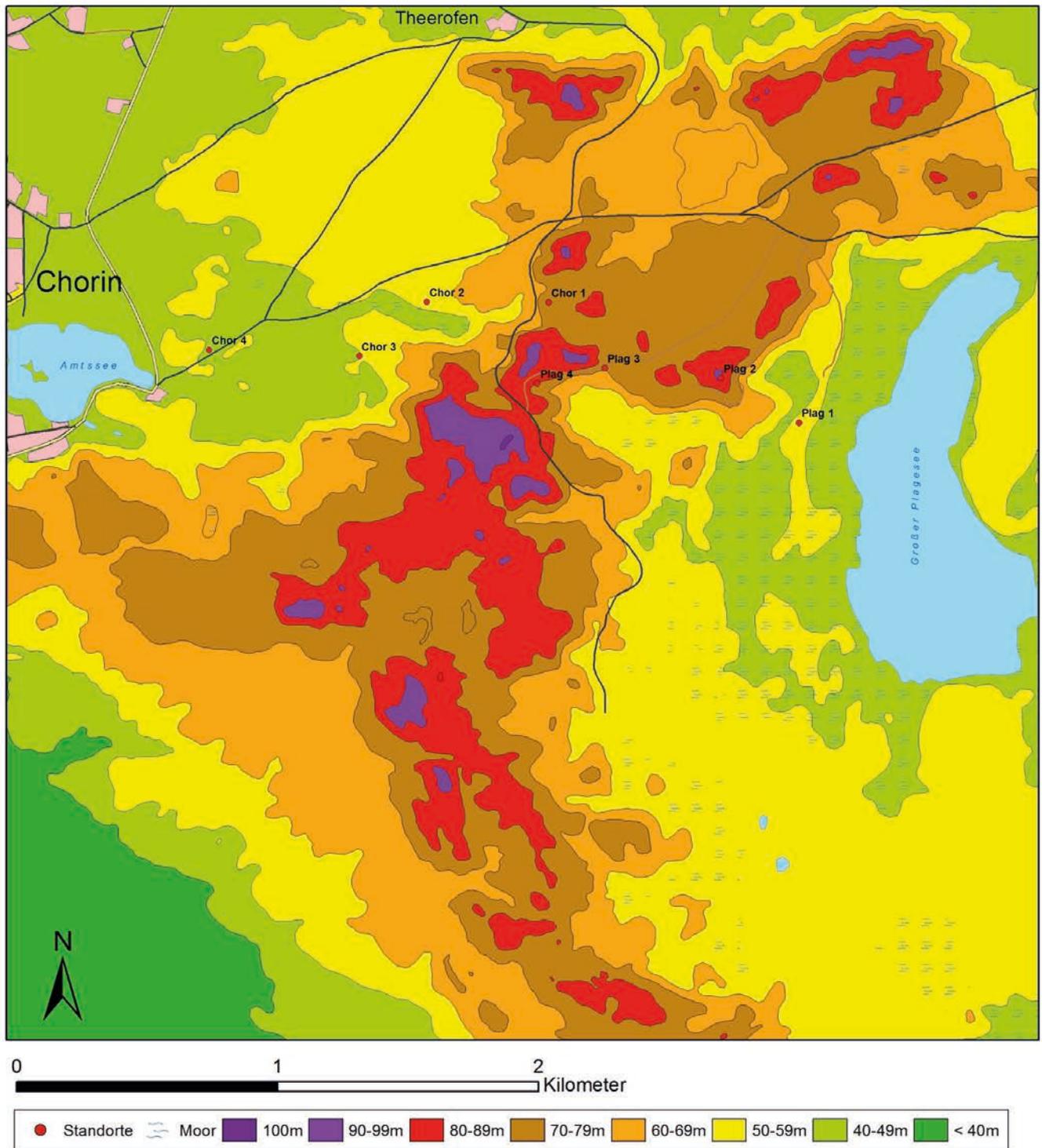


Abb. 1: Höhengschichten der Pommerschen Eisrandlage bei Chorin nach TK 1:10.000 mit Lage der Untersuchungspunkte im zentralen Transekt

Fig. 1: Elevation layers of the Pomeranian ice border location near Chorin according to TK 1: 10.000 with the location of the examination points in the central transect

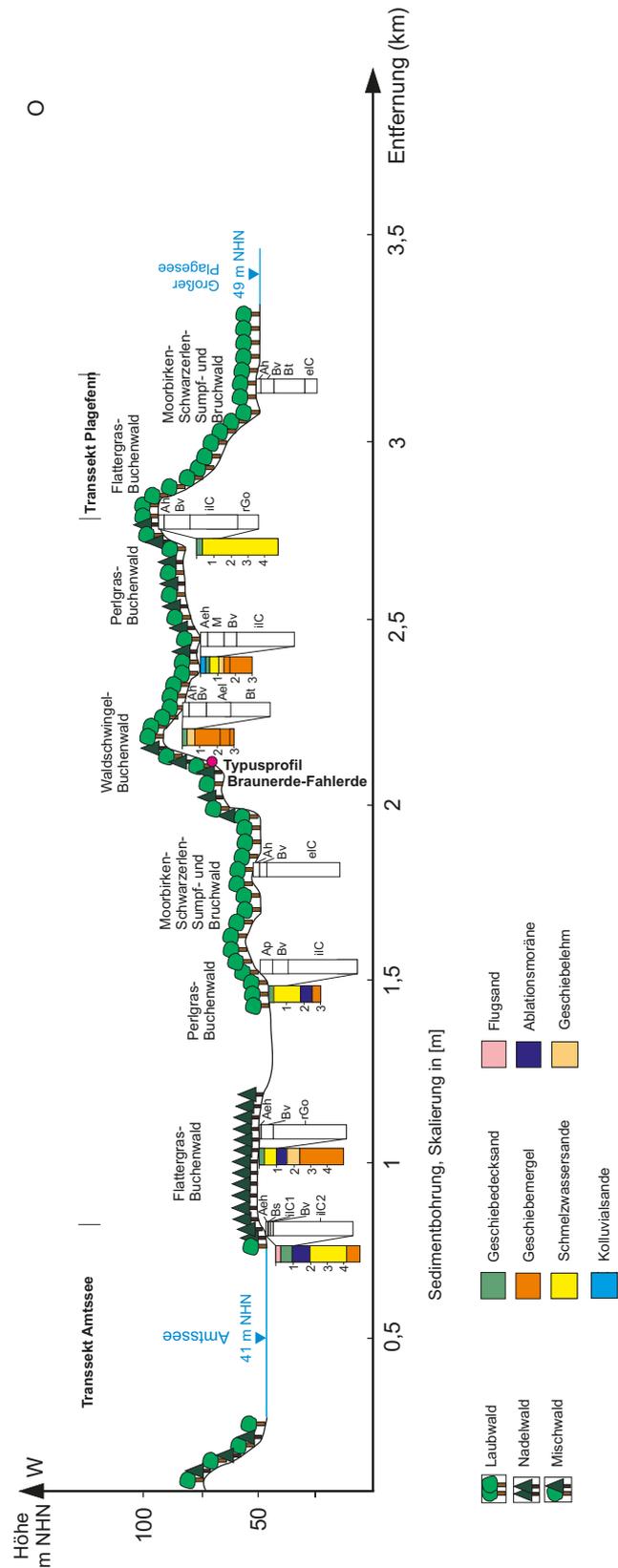
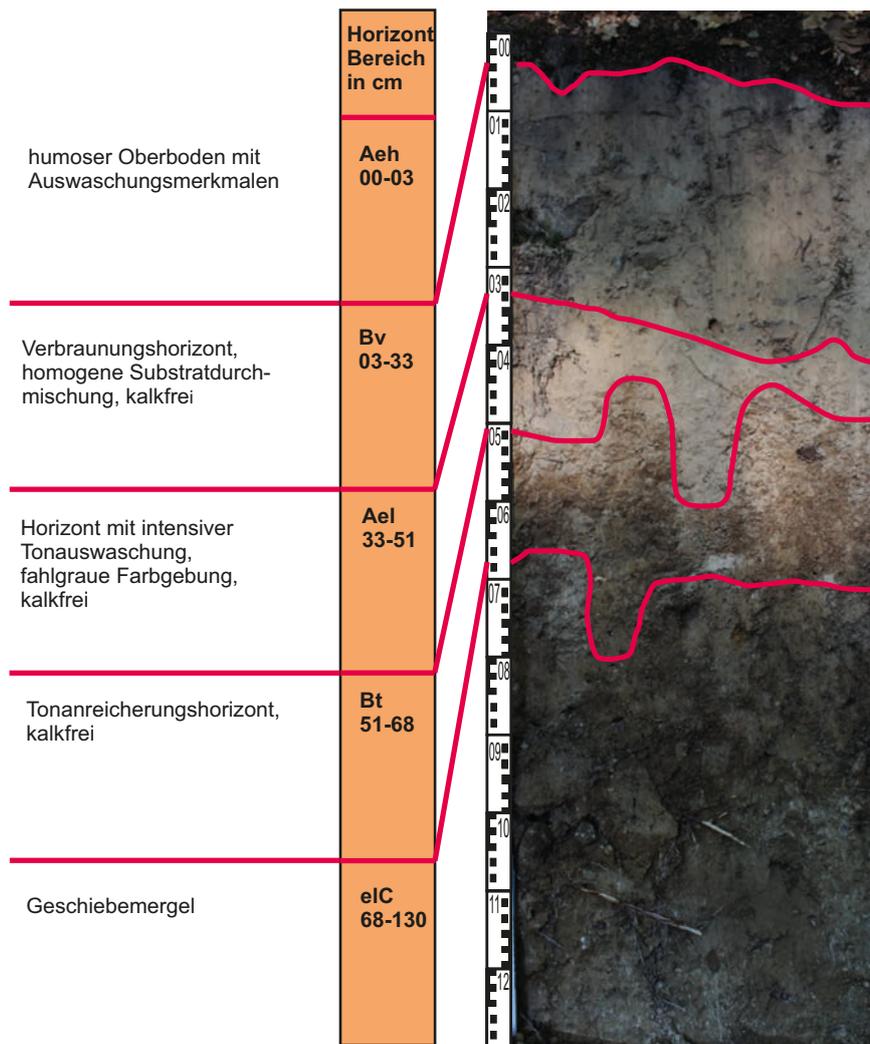


Abb. 2: Geoökologische West-Ost-Traverse durch die Pommersche Eisrandlage bei Chorin, ergänzt durch die Wald- Offenlandverteilung nach CORINE MAP (2006) sowie die potentiell natürliche Vegetation nach HOFMANN & POMMER (2005)

Fig. 2: Geo-ecological west-east traverse through the Pomeranian ice border location near Chorin, supplemented by the forest and open land distribution according to CORINE MAP (2006) and the potentially natural vegetation according to HOFMANN & POMMER (2005)



**Bodentyp:** Braunerde-Fahlerde  
**Koordinaten:** 52°53,693 N  
 13°54,708 E

Abb. 3:  
 Aufnahme Bodenleitprofil  
 Braunerde-Fahlerde nach  
 AG BODEN (2005)

Fig. 3:  
 Recording of soil guide profile  
 brown earth-pale earth according to  
 AG BODEN (2005)

chenhaft ein Buchenwald. Eine Bohrung am Südosthang der Westflanke zeigt im verwitterten Bereich des Geschiebelehms einen 17 cm mächtigen Verbraunungshorizont. Liegend folgt ein 15 cm mächtiger Tonauswaschungshorizont, der in einer Tiefe von 35 cm in einen Verzahnungshorizont mit Tonauswaschungs- und Tonanreicherungsmerkmalen übergeht. Ab einer Tiefe von 60 cm setzt sandiger Geschiebemergel ein, bei dem in einer Tiefe von 2,10 m ein 60 cm mächtiger Geschiebemergel mit höherem Schluff und Tonanteil zwischengelagert ist. Eine weitere Bohrung im zentralen Bereich der kuppigen Endmoränenhochfläche zeigt einen Geschiebedecksand, der sich überwiegend periglazial in glazifluviatile Sande eingearbeitet hat. Im Bereich der Schmelzwassersande zeichnen sich zudem Oxidationsmerkmale ab, die aufgrund der Geländeexposition auf eine reliktsche Vergleyung schließen lassen. Liegend setzt ab einer Tiefe von 1,05 m Geschiebelehm mit Tonanreicherungsmerkmalen ein. Mit dem Einsetzen des Kalkes in einer Tiefe von 1,26 m dominiert ein sandiger, skelettreicher Geschiebemergel, der sich ab einer Tiefe von 1,64 m mit höheren Schluff- und Tonanteilen fortsetzt. Ähnlich wie bei der vorangegangenen Bohrung zeigen sich bei der Schichtung des Geschiebemergels größere Inhomogenitäten. An

der Oberfläche des Profils wurden 26 cm mächtige Kolluvialsande mit gräulichen Auswaschungsmerkmalen angesprochen. Die letzte Bohrung des Überblicks-Transektes erfasste schon die östlich anschließenden Plageberge. Bis in einer Tiefe von 4,70 m konnte kein Geschiebemergel nachgewiesen werden. Das standörtliche Substrat setzt sich aus überwiegend mittel- bis feinsandigen Schmelzwasserablagerungen zusammen und wird von einer 37 cm mächtigen Geschiebedecksandschicht überlagert. Als Bodenbildung wurde eine Braunerde angesprochen. Östlich dieser 91 m hohen Plageberge fällt das Gelände steil ab und erreicht im unmittelbar angrenzenden Verlandungsbereich des Großen Plagesees nur noch Höhen von ca. 49 m NHN. Die Vegetation wird durch ausgedehnte Moorbirken- und Erlenbruchwälder mit Wollgras bestimmt. Das Endglied des geoökologischen Querschnittes bildet ein Profil im Randbereich des Totalreservates. Auf einer mit Buchen und Kiefern bestockten Erhebung im Verlandungsbereich wurde eine Grabung angelegt. Unter der 21 cm mächtigen Geschiebedecksandlage wurde eine 80 cm dicke Schicht aus glazigen stark verfestigten Beckenschluffen aufgeschlossen. Im Verwitterungsbereich der glazilimnischen Ablagerung treten bis 57 cm deutliche Tonanreicherungsmerkmale in den Vordergrund.

## Ausgewählte Testareale bei Chorin in der topischen Dimension (Amtssee, Plagefenn)

Der bisherige chorische Ansatz wird durch eine topische Betrachtungsebene in den beiden Testarealen Amtssee und Plagefenn vor allem mit Aspekten der Baumarten, der Waldentwicklung, Bodenbildungen und Humusformen vertieft. Eine daraus abgeleitete standörtliche Betrachtung der organischen Substanz bilanziert wesentliche Kohlenstoffträger.

### Amtssee

Das Einzugsgebiet des Amtssees wird am Nordwestrand durch kuppig aufragende Endmoränenwälle eingegrenzt, die in südlicher und östlicher Richtung steil abfallen und Übergänge zu Sanderwurzeln und Sanderkegeln bilden. Die Wasserscheide des Amtssees wird am Westrand des Transektes (Abb. 4) von einem Schmelzwasserkegel aufgebaut, der seeseitig steil abfällt und im ufernahen Bereich ausstreicht. In den teilweise gut sortierten Schmelzwassersanden hat sich eine ca. 20 cm mächtige Geschiebe-

bedecksandschicht eingearbeitet, die hangend durch einen humosen Oberboden mit bleichen Auswaschungsmerkmalen ergänzt wird. Unter dem Einfluss der standörtlichen Podsolierungsmerkmale sowie dem Bestand eines Buchen-Eichenmischwaldes wurde im Oberboden ca. 4 cm mächtiger Moder angesprochen. Der terrestrische Bereich des Transektes wurde in der forstlichen Standortskarte als *mäßig frisch, grundwasserfrei mit kräftiger Nährkraftstufe* kartiert. In Richtung des Hangfußes erhöht sich das Baumartenspektrum deutlich und es können Übergänge vom Kiefern-Ulmenwald am Mittelhang zum Hasel-Hainbuchenwald in Ufernähe beobachtet werden. Am schwach reliefierten Unterhang wird das Substrat neben höheren Ton- und Schluffanteilen im Geschiebedecksand durch einen liegenden Geschiebelehm aufgebaut, der in Ufernähe auch Merkmale einer blockhaltigen Fließmoräne aufweist. Am semiterrestrischen ufernahen Bereich treten je nach Mächtigkeit der organischen Bildungen, neben typischen Vergleymerkmalen, auch Übergänge zu Anmoor und Niedermoorbildungen auf. Als terrestrische Humusform wurde zwischen Ufersaum und Schmelzwasserkegel verbreitet mullartiger Moder kartiert.

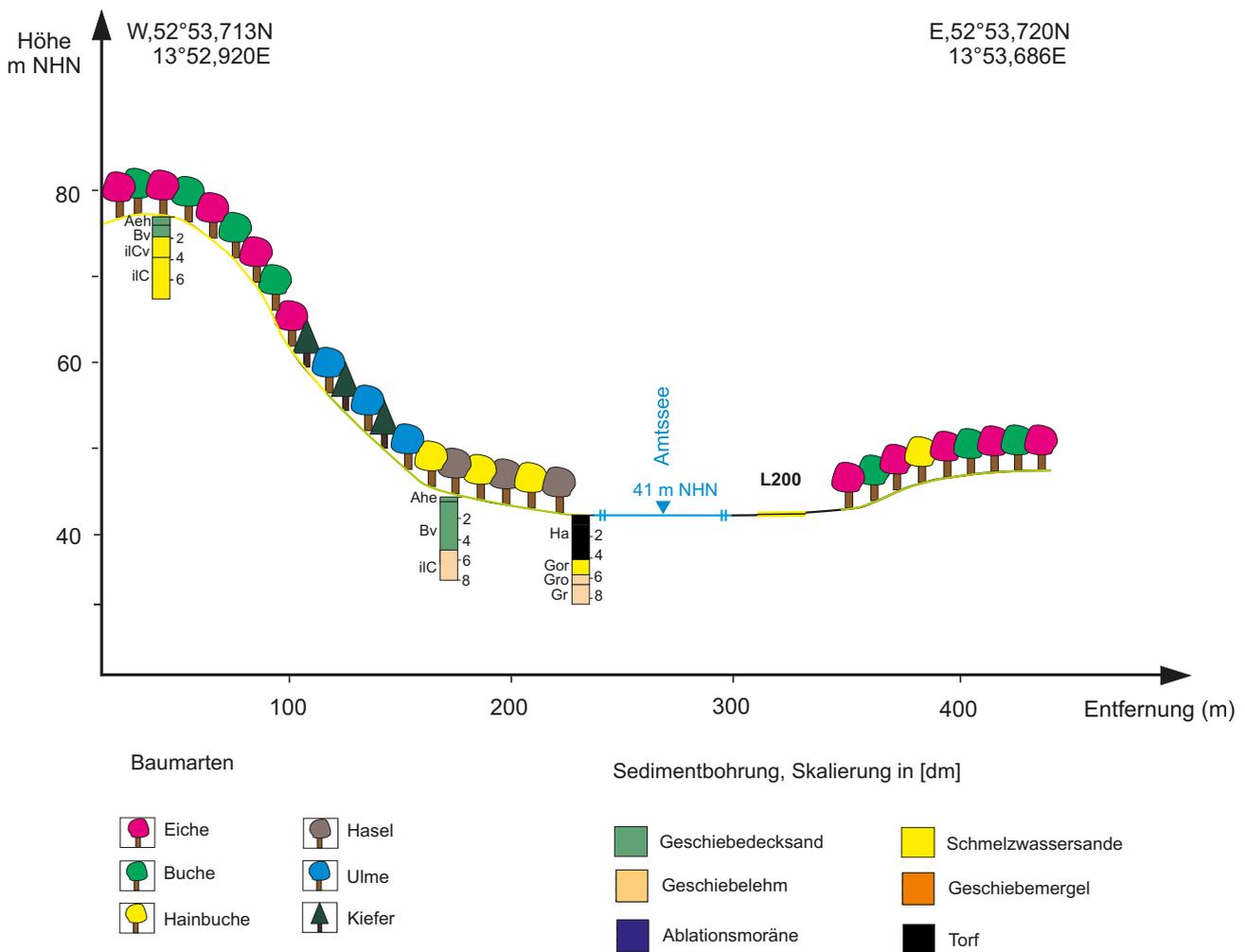


Abb. 4: Geoökologisches Testareal im Einzugsgebiet des Amtssees.

Fig. 4: Geo-ecological test area in the catchment area of the lake Amtssee

In seiner östlichen Fortsetzung ist das Transekt bis zur östlichen Grenze des Seeneinzugsgebietes nur noch mäßig reliefiert (Abb. 5). Entsprechend der Substratlagerung wird nach der forstlichen Standortskartierung die standörtliche Nährkraftstufe als *mittel* eingestuft. Auf den glazialen Schmelzwasserablagerungen haben sich häufig ca. 20 cm mächtige Geschiebedecksande mit Verbraunungsmerkmalen gebildet. Als sekundäres Bodenbildungsmerkmal treten im ca. 7 cm mächtigen humosen Oberboden podsolige Auswaschungsmerkmale hinzu. Trotz der versauernden Tendenz im Liegenden hat sich jedoch als organische Auflage ein ca. 2–3 cm mächtiger mullartiger Moder entwickelt, dessen Ausprägung durch die Streu des umgebenden Eichen-Buchen-Hainbuchenmischwaldes begünstigt wird. Die Wuchsklassenverteilung zeigt einen in der Individuenzahl von schwachem Baumholz und Dichtung dominierten Wirtschaftswald, der sich im fortgeschrittenen Stadium des Heranwachsens befindet. Aus dem errechneten standörtlichen Baumvolumen, dem Humusgehalt des minerogenen Oberbodens (A-Horizont), des Hauptverwitterungsbereiches (B-Horizont) sowie der Auflage und dem Totholzvolumen ergibt sich auf einer Bezugsfläche von einem Hektar

ein standörtlicher Kohlenstoffvorrat von 277 t. Wesentliche Speicherungsorgane werden dem dichten Baumbestand (59 %), dem B-Horizont durch seine Mächtigkeit (19 %) sowie der kohlenstoffhaltigen Auflage (20 %) zu Teil. Der geringe Totholzanteil (1 %) sowie ein geringmächtiger Oberboden (1 %) stellen im Betrachtungsraum nur geringfügige Kohlenstoffsinken dar.

### Plagefenn

Ein zweites topisch orientiertes Testareal befindet sich am Ostrand des vorangehend beschriebenen geoökologischen Querschnittes im Einzugsgebiet des Plagefenns. Die stark reliefierte Ostflanke des Choriner Endmoränenbogens wird im Bereich des Ober- und Mittelhanges als bodenbildendes Substrat durch aufgeschüttete Schmelzwassersande sowie häufig schollenartig zwischengelagerte Ablationsmoränen aufgebaut, die hangend gewöhnlich durch ca. 35 cm mächtige sandige, verbrauchte Geschiebedecksande überprägt sind. Der 5 – 10 cm mächtige humose Oberboden zeigt insbesondere im Bereich der Hanglagen leichte Auswaschungs-

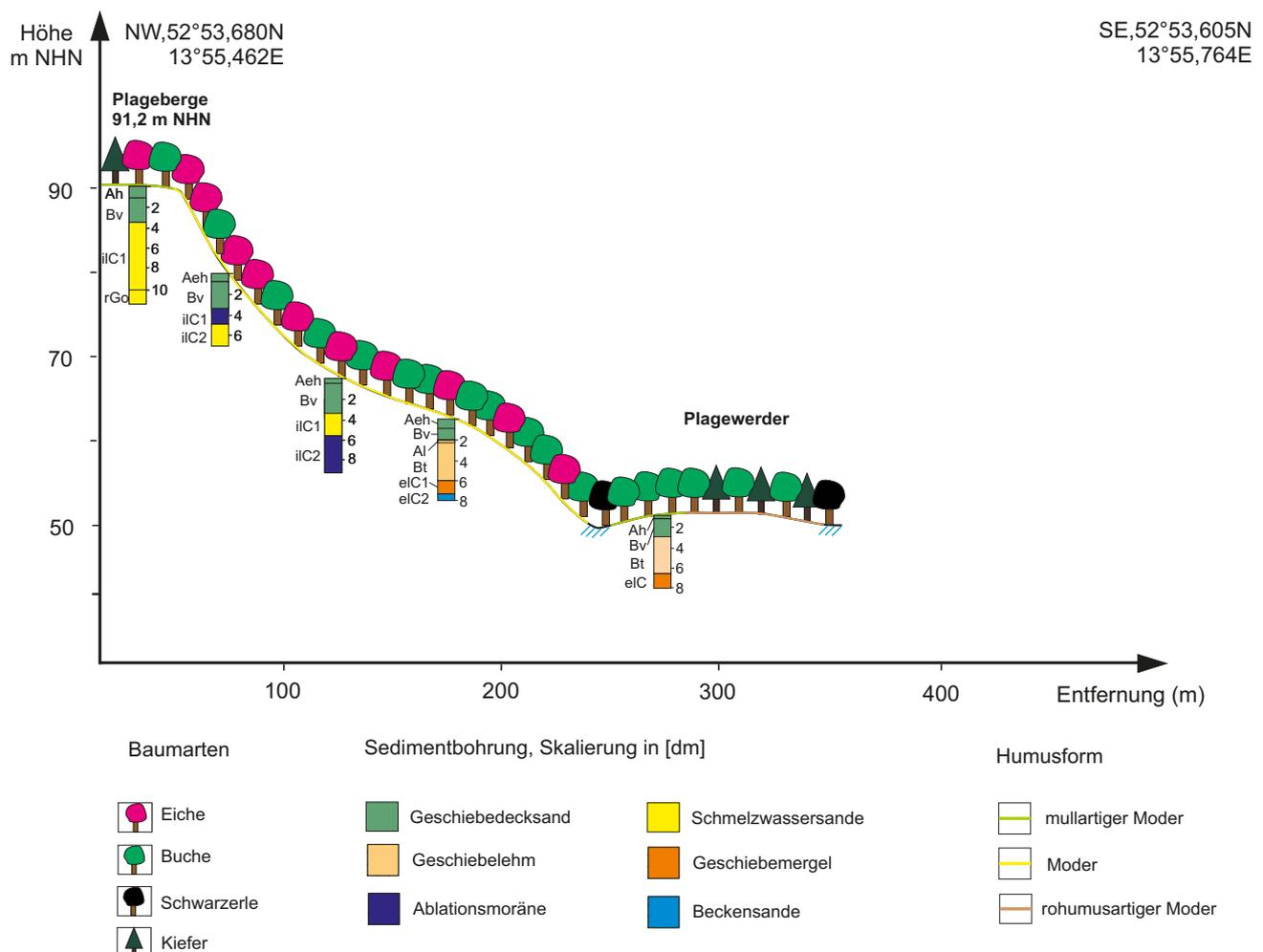


Abb. 5: Geoökologisches Testareal im NSG Plagefenn  
 Fig. 5: Geo-ecological test area in the Plagefenn NSG

merkmale einer rezenten Bodenversauerung an. Am Unterhang sowie auf den Übergängen zum Plagewerder wird das Substrat durch Geschiebelehm und -mergel sowie hangend mit einem lehmigen Geschiebedecksand ergänzt, der im Bereich der Bodenbildung deutliche Merkmale von Lesivierung und Verbraunung aufzeigt. Unter der Bedingung einer weitestgehend gleichartigen Substrat- und Bodenausprägung zeichnen sich auf dem Plagewerder in Wechselwirkung mit der Baumartenbestockung kleinräumig große Abweichungen bei der Ausbildung der Humusform ab. An Standorten mit Kiefernaltbeständen hat sich in der Folge einer schwer abbaubaren und bodenversauernden Nadelstreu langfristig ein ca. 6 cm mächtiger rohumusartiger Moder entwickelt, der unter benachbarten Buchenreinbeständen nicht existiert und durch einen ca. 1 cm geringmächtigen mullartigen Moder ergänzt wird. In den Hanglagen der benachbarten Plageberge hat sich unter dem Einfluss einer homogenen Baumartenverteilung, die im Bereich des Unterhangs durch einen Buchen-Eichenmischwald sowie am Mittel- und Oberhang durch einen Eichen-Buchenmischwald bestockt sind, unter der Bedingung einer leichten Versauerung im humosen Oberboden Moder als prägende Humusform herausgearbeitet. Der Kulminationsbereich der Plageberge ist durch einen lichten Eichen-Buchenhalbforst bestockt, der sich im fortgeschrittenen Stadium des Heranwachsens befindet. Die fehlende Bodenpodsolierung begünstigt die Herausbildung eines mullartigen Moders. Der kumulierte standörtliche Kohlenstoffvorrat fällt insbesondere durch die geringe Stammdichte mit 208 t/ha verhältnismäßig niedrig aus. Wesentliche Kohlenstoffträger finden sich im Oberboden (9 %), dem mächtigeren Unterboden (53 %), dem Baumbestand (12 %) sowie dem Totholz (2 %). Der allgemein niedrige standörtliche Kohlenstoffvorrat trägt dazu bei, dass der geringmächtige Auflagehumus einen Gesamtkohlenstoffanteil von 24 Prozent hat. Auf dem benachbarten Plagewerder dominiert im Einflussbereich des Kiefern-Buchen-Fichtenaltbestandes ein Buchenwald im Stadium des Heranwachsens. Die hohe Stammdichte (56 % Kohlenstoffanteil) sowie der mächtige rohumusartige Moder (27 % Kohlenstoffanteil) bewirken einen mit 426 t/ha überdurchschnittlich hohen standörtlichen Kohlenstoffvorrat. Entsprechend der Proportionalität ist der Kohlenstoffanteil vom A-Horizont (3 %), B-Horizont (12 %) und dem Totholz (2 %) verhältnismäßig niedrig.

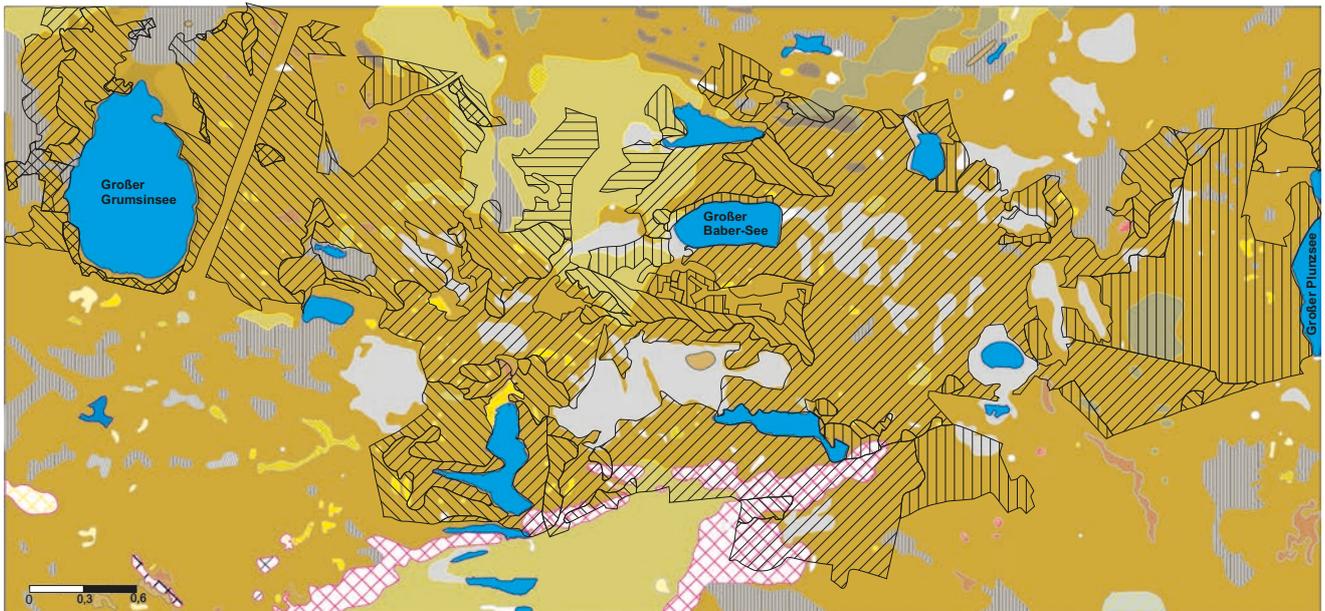
### **Geökologische Aspekte des Untersuchungsgebietes Grumsiner Forst**

Der Grumsiner Forst stellt heute als Bestandteil des UNESCO-Weltnaturerbes „Alte Buchenwälder und Buchenurwälder der Karpaten und anderer Regionen Europas“ einen weitgehend naturnahen Waldbestand dar, der jedoch in der Vergangenheit intensiven anthropogenen Eingriffen unterlag. Ungefähr ab Mitte des 17. Jahrhunderts wurde ein zuvor ungenutzter Naturraum zur Gewinnung von Ackerflächen verstärkt gerodet. Zur Finanzierung des Etats der aufstrebenden preußischen Großmacht erfolgte im 18. Jahrhun-

dert eine Intensivierung der Holzentnahme mit dem Export zahlloser Buchen- und Eichenaltbestände. Weiterhin wurde eine potentielle Waldverjüngung durch eine intensive Waldweide (insbesondere zwischen 1750 und 1850) unterbunden. Somit unterschied sich das Waldbild vom Grumsiner Forst in der Mitte des 19. Jahrhunderts deutlich vom heutigen. Mit der Einführung der „Separation“ erfolgte ab 1850 eine deutliche Trennung zwischen land- und forstwirtschaftlichen Nutzflächen, was die Holzproduktion und den Zweck der herrschaftlichen Jagd für den Grumsiner Forst wieder in den Vordergrund stellte. Als Staatsjagdgebiet der DDR und mit der Überführung in das Biosphärenreservat Schofheide-Chorin im Jahre 1990 konnte sich ein weitestgehend ungestörter Buchen- und Eichenaltbestand halten, dessen Vegetationsgesellschaft in weiten Bereichen mit der potentiell natürlichen Vegetation übereinstimmt. Das Kartenwerk von HOFFMANN & POMMER (2005) zeigt für große Bereiche des Totalreservates einen Flattergras-Buchenwald als potentiell natürliche Vegetation, der auch bei der Standortaufnahme von SCHÄFER & HORNSCHUCH (1998) verbreitet vorgefunden wurde. Die detaillierten Geländekartierungen zeigen zudem eine kleinräumige Ergänzung im Vegetationsmuster mit Perlgras-Buchenwäldern im Bereich der Endmoränenwälle sowie artenarmen Schattenblumenbuchenwäldern im Bereich der sauren Schmelzwassersandablagerungen (Abb. 6). In der Pufferzone des Schutzgebietes wird der relativ naturnahe Waldbestand durch verbreitete Flattergras-Traubeneichen- Halbforstökosysteme ergänzt.

### **Geologisch-morphologische Grundlagen des Testareals Grumsiner Forst**

Neben der anthropogenen Beeinflussung wird das Muster der standörtlichen Vegetationsgesellschaften maßgeblich durch die Verbreitung des Substrat- und Bodengefüges bestimmt. Der Betrachtungsraum orientiert sich maßgeblich am Verlauf der Pommerschen Eisrandlage. Im Bereich des Totalreservates dominiert eine kuppige Stauchmoränenlandschaft mit einer maximalen Höhe von 139,2 m NHN am Blocksberg. Die Niederungen werden häufig durch Kesselmoore und Seen mit unterschiedlichem Eutrophierungsgrad aufgefüllt. Im Umfeld der terrestrischen Standorte wird das Substrat überwiegend durch einen lagerungsgestörten, sandigen Geschiebemergel, bzw. -lehm bestimmt. Weiterhin treten kleinflächige Schmelzwasserablagerungen hinzu, die im Westbereich des Totalreservates (westlich vom Buckowsee und Großem Dabersee) den Substrataufbau dominieren. In nördlicher und südlicher Richtung treten Endmoränenwälle mit Aufschüttungs- und Ausschmelzungsmerkmalen hinzu, die südlich des Brackensees auch flächig mit Blockpackungen angereichert sind. Entsprechend der Substratverbreitung dominiert an den lehmigen, terrestrischen Standorten eine Braunerde-Fahlerde. Mit zunehmender Grundwasserbeeinflussung treten Vergleymerkmale in den Vordergrund. Die Standorte mit Schmelzwasserablagerungen werden durch Braunerden mit unterschiedlich intensiver Podsolierung bestimmt.



Substrate

- Grundmoräne
- geringmächtige Grundmoräne mit liegenden Schmelzwassersanden
- Schmelzwassersande
- Moorbildung
- Endmoräne

Waldgesellschaften

- Flattergras Buchenwald
- Perlgras Buchenwald
- Schattenblumen Buchenwald
- Flattergras Traubeneichen-Halbforst
- Stieleichen-Hainbuchenwald
- anthropogen beeinflusste Forsten und Offenland

Abb. 6: Grumsiner Forst - Waldgesellschaften nach SCHÄFER & HORNSCHUCH (1998) sowie Substrate nach preußischer geologischer Karte (1:25.000)

Fig. 6: Grumsin forest - forest communities according to SCHÄFER & HORNSCHUCH (1998) and substrates according to the Prussian geological map (1: 25.000)

**Geoökologisches Transekt im Einzugsgebiet des Großen Plunzsees**

Ausgehend vom Großen Plunzsee erstreckt sich das eigene Transekt in nordwestlicher Richtung durch die Pufferzone des Totalreservates bis zu dem Pfingstberg (Abb. 7). Der östliche Bereich des Totalreservates ist im Bereich des Transektes durch einen Flattergras- Traubeneichen-Hainbuchen- Halbforst mit Buche in der Naturverjüngung geprägt. Im westlichen Teilbereich der Pufferzone wandelt sich die Vegetationsgesellschaft in einen Flattergras-Eichen-Buchenmischwald. In einer Senke nahe des sich anschließenden Stauchmoränenwalles quert das Transekt ein Kesselmoor. Als Zeiger für oligotroph-saure Standorte wurde hier ein Grüner Wollgras-Torfmoosrasen sowie ein Wollgras-Birkengehölz kartiert (SCHÄFER & HORNSCHUCH, 1998). Im Umfeld des Pfingstberges wird das Waldbild durch einen Perlgras-Buchen-Eichenmischwald bestimmt.

Auf einer Länge von ca. 1,5 km überwindet das Transekt bei einem wellig - kuppigen Anstieg im Bereich des Pfingstberges einen Höhenunterschied von rund 49 Metern. Als weiteres morphologisches Strukturmerkmal werden die Niederungen der Stauchmoränenlandschaft häufig durch Kesselmoore aufgefüllt.

Die Substratabfolge der pleistozänen Niedertaulandschaft wird durch einen häufig blockhaltigen Geschiebelehm, bzw. -mergel bestimmt. Kleinräumig zwischengelagerte glazifluviatile Vollformen deuten mit der Schichtung einer Ablationsmoräne auf glaziale Schmelzwasserrinnen- bis Kamebildungen hin. Entsprechend der Substratablagerungen hat sich im Betrachtungsraum die Fahlerde als Typusboden mit einem häufig knapp zehn Zentimeter mächtigen Tonmineralauswaschungshorizont und einem liegenden Tonanreicherungshorizont gebildet. An der Basis der Grabungen wurde an keinem Standort der liegende Geschiebemergel erreicht (Abb. 8). Als sekundäres Bodenbildungsmerkmal tritt ein häufig 20–30 cm mächtiger Geschiebedecksand hangend hinzu, der sich in einen humosen Oberboden und einen Verbraunungshorizont mit Verlehmungsmerkmalen unterteilt. An einem Einzelstandort wurde bei geringerer Tonauswaschung auch eine Parabraunerde angesprochen.

Forstliche Standortskarten weisen für diese Grundmoränenstandorte mäßig frische und überwiegend reiche Nährkraftstufen aus, während in den Kesselmooren kräftige Nährkraftstufen dominieren. Entsprechend der basenreichen Bodenausprägung, geringer Unterschiede im Vegeta-

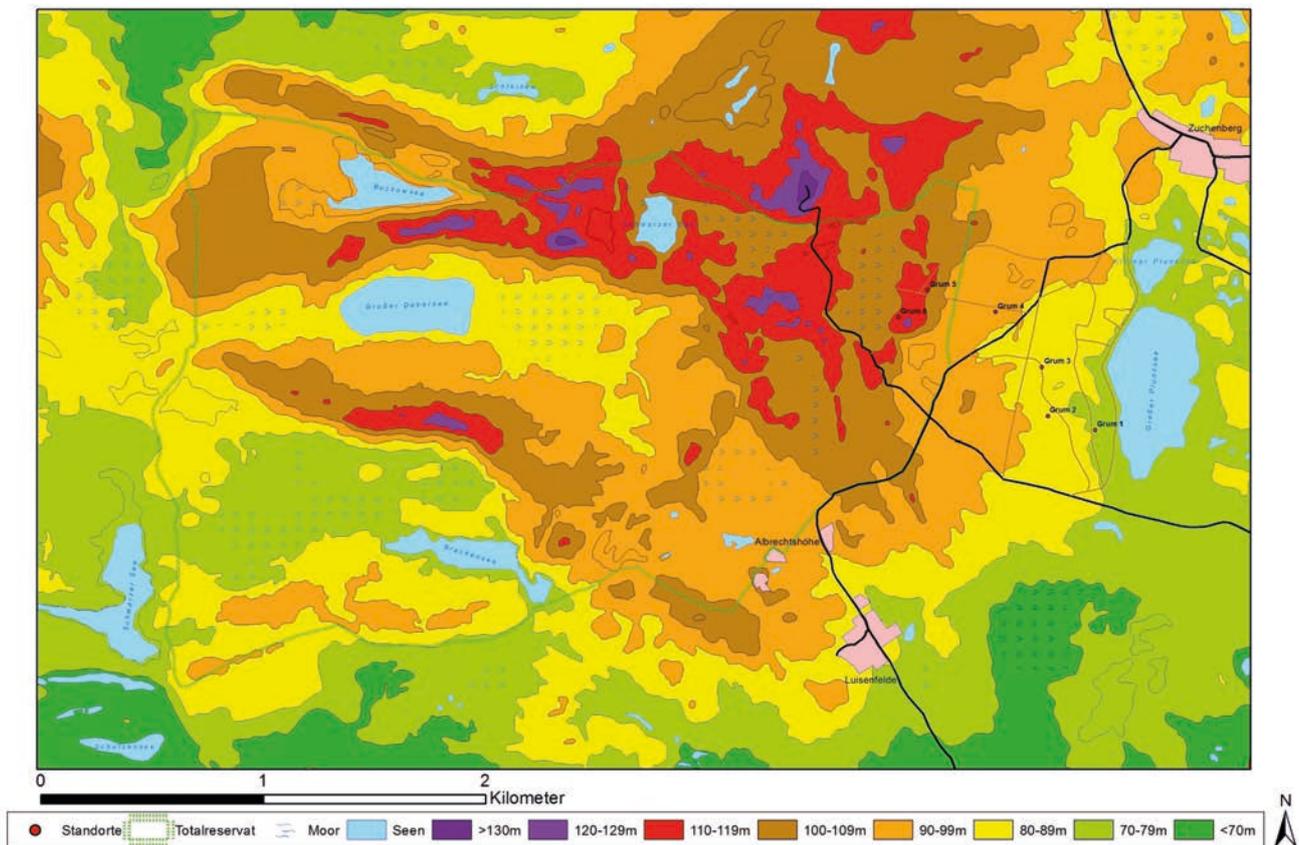


Abb. 7: Höenschichten der Pommerschen Eisrandlage bei Grumsin nach TK 1:10.000 und Lage der wichtigsten Standorte im Transekt Grumsin

Fig. 7: Elevation layers of the Pomeranian ice edge location near Grumsin according to TK 1: 10.000 and location of the most important locations in the Grumsin transect

tionsmuster und der Produktion einer günstig abbaubaren Streu hat sich in Abhängigkeit von der Windexposition Mull oder mullartiger Moder als Humusform entwickelt. Die sandigen Standorte werden häufig durch einen ca. 3 cm mächtigen mullartigen Moder in der Auflage überlagert. Im ufernahen Bereich des Großen Plunzsees wird das Spektrum der Humusformen durch einen ca. 3 cm mächtigen Moder ergänzt.

Im weitestgehend homogenen Eichenhalbforst schließt überwiegend mittleres- und starkes Baumholz das obere Kronendach ab. Der Unterwuchs setzt sich mit höherer Individuenzahl insbesondere aus Buchen- und Hainbuchenbeständen zusammen. Entsprechend des ermittelten Baumvolumens befinden sich durchschnittlich rund 86 % des derbholzgebundenen Kohlenstoffes im Eichenaltbestand. Die quantitative Auswertung der weiteren Kohlenstoffträger zeigt in Hinblick auf weitestgehend homogene Substratlagerungen und Humusformen kaum Schwankungen bei der standörtlichen Verteilung. Bei einem standörtlichen Kohlenstoffvorrat von durchschnittlich 288 t/ha konzentrierte sich gut die Hälfte mit 57 % im Derbholz. Ein weiterer wesentlicher Kohlenstoffträger befindet sich im Boden. Entsprechend der größeren Horizontmächtigkeit befinden sich trotz geringeren Humusgehaltes weitere

30 % des standörtlichen Kohlenstoffes im Hauptverwitterungsbereich, dem B-Horizont. Trotz höherer Humuskonzentration im Oberboden und insbesondere in der organischen Auflage sinkt der standörtliche Kohlenstoffanteil aufgrund niedrigerer Horizontmächtigkeiten auf 9 bzw. 3 %. Das Totholz wurde mit einem Kohlenstoffanteil von rund einem Prozent erfasst.

Im Bereich der Pommerschen Haupteisrandlage wurde am Beispiel der Choriner und Grumsiner Forsten mit Hilfe von Feldmethoden eine komplexe geoökologische Analyse durchgeführt. Im Ergebnis wurden bisherige standortkundliche Beschreibungen präzisiert. Darüber hinaus wurden Biomasseparameter quantifiziert, hierbei konnten unterschiedliche anthropogene Einflüsse deutlich herausgearbeitet werden. Die Kohlenstoffwerte liegen im Grumsiner Halbforst wie auch bei den naturnahen Standorten Chorin bei hoher Bestandsdichte im Unterwuchs gewöhnlich deutlich über Forststandorten mit überwiegendem Fehlen des Altbestandes. Die Humusformen hingegen weisen von den naturnäheren Standorten (mit Mull bis mullartiger Moder) hin zu den forstlich genutzten (bis hin zum Rohhumus) klar ansteigende Kohlenstoffgesamtmengen auf.

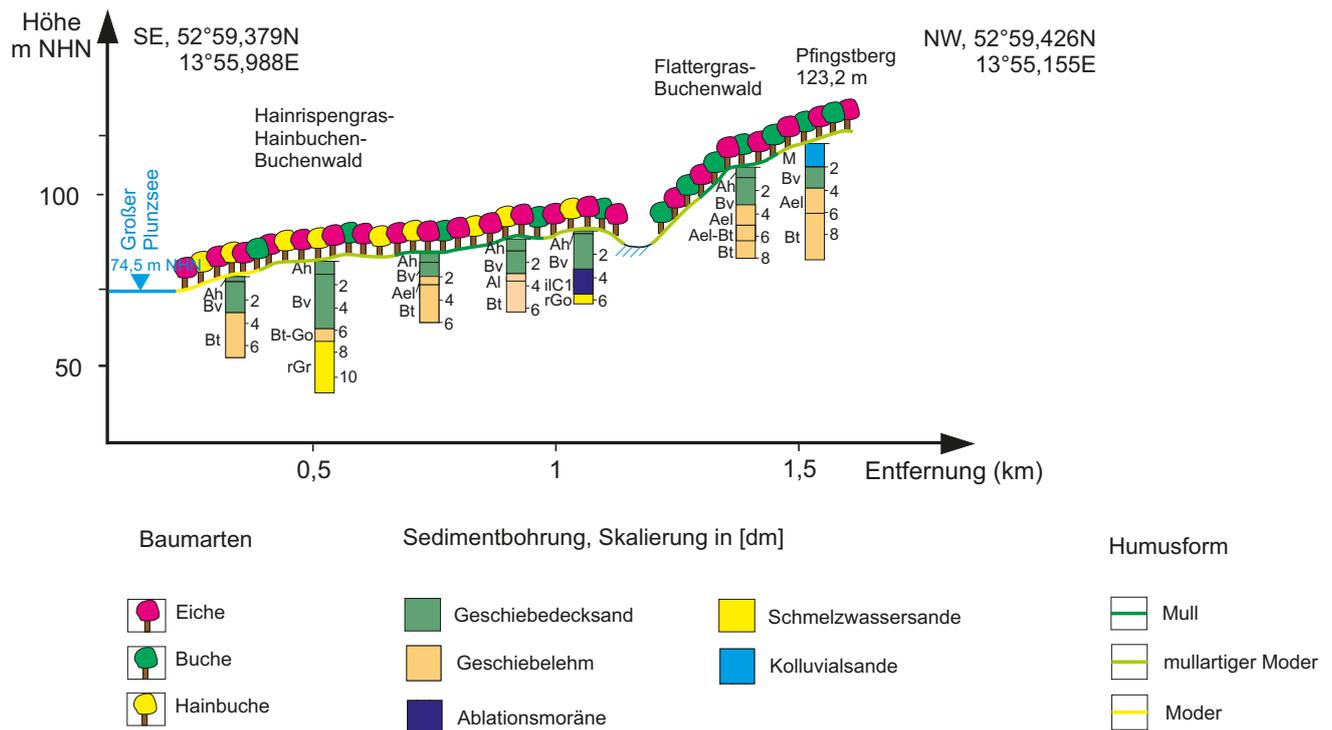


Abb 8: Geoökologisches Transekt durch die Pommersche Eisrandlage im Grumsiner Forst, ergänzt durch die Wald- Offenlandverteilung nach CORINE MAP (2006) sowie die potentiell natürliche Vegetation nach HOFMANN & POMMER (2005)

Fig. 8: Geo-ecological transect through the Pomeranian ice border location in the Grumsiner Forest, supplemented by the forest and open land distribution according to CORINE MAP (2006) and the potentially natural vegetation according to HOFMANN & POMMER (2005)

**Zusammenfassung**

Im Bereich der Pommerschen Haupteisrandlage wurde am Beispiel der Choriner und Grumsiner Forsten mit Hilfe von Feldmethoden eine komplexe geoökologische Analyse durchgeführt. Im Ergebnis wurden bisherige standortkundliche Beschreibungen präzisiert. Darüber hinaus wurden Biomasseparameter quantifiziert, hierbei konnten unterschiedliche anthropogene Einflüsse deutlich herausgearbeitet werden. Die Kohlenstoffwerte liegen im Grumsiner Halbforst wie auch bei den naturnahen Standorten Chorin bei hoher Bestandsdichte im Unterwuchs gewöhnlich deutlich über Forststandorten mit überwiegendem Fehlen des Altbestandes. Die Humusformen hingegen weisen von den naturnäheren Standorten (mit Mull bis mullartiger Moder) hin zu den forstlich genutzten (bis hin zum Rohhumus) klar ansteigende Kohlenstoffgesamtmen gen auf.

**Summary**

In the area of the Pomeranian terminal moraine, a complex geo-ecological analysis was carried out operating field methods using the example of the Choriner and Grumsin for-

ests. As a result, previous descriptions of the location were made more precisely. In addition, biomass parameters were quantified, and different anthropogenic influences could be clearly identified. The carbon values in the Grumsiner semi-forest as well as in the near-natural locations of Chorin with a high density of undergrowth are usually well above forest locations with a predominant lack of old stands. The humus forms, on the other hand, show clearly increasing total amounts of carbon from the more natural locations (with mull to mullmoder) to those used for forestry (up to mor).

**Literatur**

AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.), Hannover

BERENDT, G. (1883-1885): Geologische Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten, 1:25.000. Königlich Preußische Geologische Landesanstalt

BAURIEGEL, A. (2012): Bodenübersichtskarte des Landes Brandenburg: bodengeologische Grundkarte BÜK 300. Potsdam

- CORINE (2006): Corine Land covermap. - EPA, Wexford
- GRUNDNER, F. & A. SCHWAPPACH (1922): Massentafeln zur Bestimmung des Holzgehaltes stehender Waldbäume und Waldbestände. 128 S. Berlin
- HOFMANN, G. & U. POMMER (2005): Potentielle Natürliche Vegetation von Brandenburg und Berlin mit Karte im Maßstab 1:200.000. Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg, Potsdam
- LIPPSTREU, L., HERMSDORF, N. & A. SONNTAG (1997): Geologische Übersichtskarte des Landes Brandenburg, 1:300.000. LBGR, Potsdam
- LUTHARDT, M. E., SCHULZ, R. & M. WULF (2004): Ein Buchenwald im Wandel der Zeit: 300 Jahre Nutzungsgeschichte im Grumsiner Forst. Rangsdorf
- LUTHARDT, V., SCHULZ, C. & R. MEIER-UHLHER (2015): Steckbriefe Moorsubstrate. Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (Ed.), 2. Auflage, Berlin
- SCHÄFER, J. & F. HORNSCHUCH (1998): Standort und Vegetation der Wälder, Moore und Sümpfe im Naturschutzgebiet „Grumsiner Forst“ (Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin/ Nordostbrandenburg). Diplomarbeit Universität Greifswald
- SCHLAAK, N. (1999): Nordostbrandenburg- Entstehungsgeschichte einer Landschaft. Gesellschaft zur Erforschung und Förderung der Märkischen Eiszeitstraße e.V., Eberswalde
- SCHLAAK, N. & T. SCHOKNECHT (2017): Die Entstehung des Amtssees am Kloster Chorin und seine Lage im Modellgebiet der „Glazialen Serie“. Eberswalder Jahrbuch für Heimat-, Kultur- und Naturgeschichte. Jubiläumsausgabe 2017. S. 238–248
- SCHLAAK, N. & M. E. LUTHARDT (2019): Der Grumsin – ein besonderes Relikt der Eiszeit. Eberswalder Jahrbuch für Heimat-, Kultur- und Naturgeschichte. 2019, S. 254-264
- SCHOKNECHT, T. (2018): 16. Erhaltungszieleverordnung. Gesetz- und Verordnungsblatt für das Land Brandenburg Teil II, Nr. 18
- SCHOLZ, E. (1962): Die naturräumliche Gliederung Brandenburgs. Pädagogisches Bezirkskabinett (Hrsg.), Potsdam

**Anschriften der Autoren:**

Dipl.-Geogr. Axel Heise  
 Prof. Dr. Sixten Bussemer  
 Institut für Geographie und Geologie  
 der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald  
 Friedrich-Ludwig-Jahn-Str. 17a  
 17489 Greifswald  
 sixten.bussemer@uni-greifswald.de  
 axel.heise@uni-greifswald.de

## Aus dem LBGR

### Herr Sebastian Fritze neuer Präsident des LBGR

Mit Wirkung vom 01. Oktober 2020 hat Herr Sebastian Fritze sein Amt als neuer Präsident des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg angetreten.

Herr Sebastian Fritze hat von 1991 bis 1995 ein Hochschulstudium im Fachgebiet Geologie/Paläontologie an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg absolviert. Darin enthalten war ein Zweitstudium der Bodenkunde, Forstbotanik und Dendrologie an der Technischen Universität Dresden/Tharandt.

Berufliche Erfahrungen sammelte er anschließend als Diplom-Geologe bei der ERGO Umweltinstitut GmbH in Dresden und bei der Hydro-Geo-Consult GmbH in Freiberg. Seit 1998 war Herr Fritze in der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen beschäftigt. Dort übernahm er zunehmend Leitungsfunktionen und war ab 2005 als Betriebsleiter für den Landestalsperrenbetrieb Spree/Neiße tätig.

Am 12. Oktober 2020 wurde Herr Sebastian Fritze offiziell durch den Minister für Wirtschaft, Arbeit und Energie, Herrn Prof. Jörg Steinbach, in sein Amt eingeführt. Die Veranstaltung fand in Form einer Belegschaftsversammlung im Großen Saal der Messehalle Cottbus statt.

Im Rahmen dieser Veranstaltung dankte Minister Steinbach Frau Angelika Seidemann, die das LBGR seit November 2018 kommissarisch leitete.



*Herr Sebastian Fritze stellt sich der Belegschaft vor*



*Symbolische Übergabe der Amtsgeschäfte durch Herrn Minister Steinbach (rechts) von Frau Seidemann an Herrn Fritze*

# Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge

## Autorenhinweise

Die Zeitschrift „Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge“ widmet sich geologischen, lagerstättenkundlichen und bergbaulichen Themen von Brandenburg und Berlin sowie dem neuesten Forschungsstand in den geowissenschaftlichen Disziplinen. Die eingereichten Beiträge sollen diesem Profil entsprechen. Es werden Originalarbeiten und wissenschaftliche Informationen veröffentlicht, die noch nicht andernorts publiziert wurden. Die Redaktion behält sich das Recht vor, Manuskripte zur Überarbeitung an die Autoren zurückzusenden.

Ihre Manuskripte senden Sie bitte in digitaler Form (e-mail, CD) an das Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, Redaktion z. Hd. Dr. Norbert Schlaak (Tel.: 0355-48640-157), PSF 10 09 93, 03009 Cottbus oder per e-mail an: [norbert.schlaak@lbgr.brandenburg.de](mailto:norbert.schlaak@lbgr.brandenburg.de). Weitere Anfragen richten Sie bitte ebenfalls an die obige Adresse.

## Manuskript

- Der **Umfang** des Manuskripts sollte **zehn Seiten (A4, 1,5 zeilig)** nicht überschreiten. Wissenschaftliche **Kurzinformationen** sind einschließlich der Abbildungen auf maximal **fünf Seiten** zu bemessen.
- Jedem Beitrag ist eine kurze **deutsche und englische Zusammenfassung** beizufügen.
- Bitte **übersetzen** Sie den **Titel** des Beitrags, die **Unterschriften der Abbildungen, Tafeln und Tabellen** ebenfalls **ins Englische**.
- Die Textdateien sollten unformatiert sein und in Word abgefasst werden (Schrift: Times New Roman 10 pt).
- Absätze bitte mit einer Leerzeile trennen.
- **Word-Dokumente** bitte **nicht mit integrierten Abbildungen** liefern, d. h. Text und Abbildungen immer in separaten Dateien einschicken!

## Abbildungen

- Wir empfehlen, die Anzahl von bis zu 7 Abbildungen je Beitrag nicht zu überschreiten.
- Zur Beschriftung in den Abbildungen verwenden Sie bitte den Schriftsatz „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 und Abbildungen** sollten die **Formate Adobe Illustrator (.ai), Corel-Draw (.cdr) oder .pdf und .eps aus vorgenannten Programmen** haben, **Fotos** hochauflösendes (**mindestens 300 dpi!**) **TIFF (.tif)- bzw. JPG (.jpg)-Format**, andere nach Absprache. Das Originalformat bitte immer mitschicken!

## Tabellen

- Tabellen bitte mit einem Tabellenprogramm schreiben (Word, Excel).

## 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 „Erднаt“. – 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)

Autorennamen bitte in **Kapitalchen** schreiben, **nicht in Großbuchstaben**.

**Autorenname(n)**: Akademischer Titel, Vorname, Name, und Anschrift der Institution oder gegebenenfalls die Privatan-schrift, wenn gewünscht, auch e-mail-Adresse

## 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; **Telefonnummern**: (03 31) 12 34 56 78 – Gliederung der Zahlen von rechts beginnend in zweistellige Gruppen