

**Beiträge**  
**zur Regionalgeologie, Stratigraphie und**  
**zum Grundwasser in Berlin und Brandenburg**  
**sowie zur Bodenkunde in der Niederlausitz**

	INHALT	CONTENTS	Seite
THOMAS RAAB, FLORIAN HIRSCH, ALEXANDRA RAAB, ANNA SCHNEIDER, ALEXANDER BONHAGE, EBERHARD BÖNISCH	Böden historischer Landnutzung in der Niederlausitz – Wölbäcker und Kohlenmeiler	Historic land use soils in Lower Lusatia – ridge and furrow systems and charcoal hearths	5–14
ALEXANDER LIMBERG & ANDREAS HENNING	Auswertung von Temperaturmessungen des Berliner Untergrundes über einen Zeitraum von 150 Jahren	Evaluation of underground temperature measurements in Berlin over a period of 150 years	15–31
GERHARD HOTZAN	Erfahrungen bei der Anwendung des GEBAH-Moduls „Geneseklassen“	Experiences with the application of the GEBAH-Module „Genetic classes“	35–43
ALEXANDER LIMBERG	150 Jahre Grundwasserbeobachtung in Berlin – von der ersten Messung bis zum modernen Grundwassermanagement	150 years of groundwater observation in Berlin – from the first measurement to a modern groundwater management	45–60
OLAF ELICKI & MICHAEL GÖTHEL	Neue Ergebnisse mikropaläontologischer Untersuchungen (Foraminiferen) aus Kernstrecken der mittleren Kreide (Alb bis Coniac) Südost- und Nord-Brandenburgs: Biostratigraphie, fazielle und regionalgeologische Interpretation	New micropalaeontological results (foraminifera) from middle Cretaceous (Albian to Coniacian) drilling cores of southeast and north Brandenburg: biostratigraphy, facies, and regional geological interpretation	61–105
MICHAEL GÖTHEL	Vulkanisch geprägtes Unterrotliegend der Lausitz – Resultat postvariszischer Strike-Slip-Bewegungen an den Mitteldeutschen Abbrüchen	Volcanic influenced Unterrotliegend deposits of the Lausitz region – result of the post-variscan strike-slip movements on the Central German faults	107–116

---

	INHALT	CONTENTS	Seite
	<b>Buchbesprechung</b>		
MICHAEL GÖTHEL	Fossilien an deutschen Küsten – Finden und Bestimmen		32
	<b>Kurzmitteilung</b>		
NORBERT SCHLAAK & SLAWOMIR KOWALSKI	Neues gemeinsames Kartenblatt der GK 50 in Zusammenarbeit mit dem Polnischen Geologischen Dienst fertiggestellt		34
	<b>Nachruf</b>		
WERNER STACKEBRANDT	Dr. Volker Manhenke verstorben (29.05.1939 – 23.04.2019)		117
ANGELIKA SEIDEMANN	Diplom-Geologe Norbert Hermsdorf verstorben (11.03.1961 – 17.10.2019)		118



Brandenburg. geowiss. Beitr.	Cottbus	26 (2019), 1/2	S. 5–14	6 Abb., 1 Tab., 23 Zit.
------------------------------	---------	----------------	---------	-------------------------

## Böden historischer Landnutzung in der Niederlausitz – Wölbäcker und Kohlenmeiler

### Historic land use soils in Lower Lusatia – ridge and furrow systems and charcoal hearths

THOMAS RAAB, FLORIAN HIRSCH, ALEXANDRA RAAB, ANNA SCHNEIDER, ALEXANDER BONHAGE, EBERHARD BÖNISCH

#### Zusammenfassung

In der Niederlausitz finden sich – meist unter Kiefern- und Eichenforsten versteckt – zahlreiche Relikte der historischen Landnutzung, die bisher kaum bekannt sind. Zu den auffälligsten Formen zählen Wölbäcker und Plätze ehemaliger Kohlenmeiler. In einigen Regionen der Niederlausitz ist die Verbreitung der Landnutzungsrelikte so groß bzw. ihre Dichte so hoch, dass sie prägend für die Bodenlandschaft werden. Dieser Beitrag zeigt an repräsentativen Beispielen die charakteristischen Merkmale und Eigenschaften der Böden auf Wölbäckern und Relikten von Holzkohlenmeilern (HKM).

#### Summary

Historic land use remains in Lower Lusatia are often hidden under pine and oak forests and their abundance is therefore underestimated. The most prominent remains are ridge and furrow systems and sites of former charcoal burning. In some regions of Lower Lusatia the number and density of land use remains is so large, that a noticeable effect on the soil landscape is measurable. This article discusses characteristic features and properties of soils on ridge and furrow systems and relict charcoal hearths (RCH).

#### 1. Wölbäcker

Wölbäcker oder Hochbeete sind vor allem an bewaldeten Standorten in Brandenburg ein häufig vorhandenes anthropogenes Reliefelement (Abb. 1a; HIEROLD & NAGEL 2001, HIRSEKORN 2003, WULF 2001). Die Genese der Wölbäcker ist nicht gänzlich geklärt und wird z. T. unterschiedlich interpretiert, u. a. durch Verlagerung von Bodenmaterial beim Pflügen aufgrund fester Pflugschar (BÖNISCH 2013) oder gezieltes Aufbringen von Bodenmaterial zur Schaffung langfluriger Gunststandorte (SCHNEIDER 2016). Wölbäcker sind nicht auf Brandenburg beschränkt, sondern eine weit verbreitete anthropogene Oberflächenform in Mitteleuropa

(NOACK & WULF 2019). Die früheste dokumentierte Nutzung in der Niederlausitz datiert auf das 12./13. Jahrhundert (BÖNISCH 2001). Wölbäcker sind parallele Langstreifenfluren, die mehrere hundert Meter lang sein können. In der Niederlausitz sind konvexe Kuppen der Wölbäcker aufgrund der früheren Einteilung mittels der 4,5 m weiten Rute meist 13,5 m oder 18 m breit (BÖNISCH 2001), und die Kuppen sind durch schmale Fahren voneinander getrennt. Teilweise finden sich in archäologischen Grabungen, aber auch historischen Kartenwerken, Hinweise, dass zwei nebeneinanderliegende Wölbäcker zu einer Langstreifenflur zusammengelegt wurden (EVERT 1774, SCHNEIDER 2016). Der Höhenunterschied zwischen Kuppe und Fahre beträgt meist 50 bis 70 cm (MEIBEYER 1969).

Aufgrund der charakteristischen Form sind Wölbäcker besonders gut in hochaufgelösten schattenplastischen Reliefkarten (*shaded relief maps*, SRM) oder Digitalen Geländemodellen (DGM) erkennbar, die auf Basis von flugzeuggestütztem Laser Scanning (*Airborne Laser Scanning*, ALS; *Light Detection And Ranging*, LiDAR) erstellt werden (NOACK & WULF 2019, Abb. 2). Die ursprünglich ackerbaulich genutzten, ehemals baumfreien Kleinformen sind heute in der Regel unter Wald zu finden. Der Erhalt von Wölbäckern in Forstgebieten ist somit einerseits Beleg für eine ehemals andere Wald-Offenland-Verteilung. Andererseits ist anzunehmen, dass eine über Jahrzehnte intensiv betriebene landwirtschaftliche Nutzung vielerorts Kleinformen zerstört hat. Allerdings können rezente Ackerflächen durchaus Wölbäckerstrukturen aufweisen (NOACK & WULF 2019), was wiederum auf eine geringe nutzungsbedingte Reliefumgestaltung durch die industrielle Landwirtschaft an diesen Standorten hinweist.

Die Böden auf Wölbäckern unterscheiden sich in Abhängigkeit der topographischen Situation deutlich zwischen der muldenartigen Fahre und der konvexen Kuppe des Wölbäckers (Abb. 1). In den sogenannten Fahren werden aufgrund des anthropogenen Bodenabtrages meist gekappte Bodenprofile vorgefunden, die aber, ebenfalls wie die Profile auf den Wölbäckerkuppen, wegen früheren Pflügens oft von einem homogenisierten Oberboden mit scharfer Untergrenze gekennzeichnet sind. Da aktuell eine forstwirtschaftliche

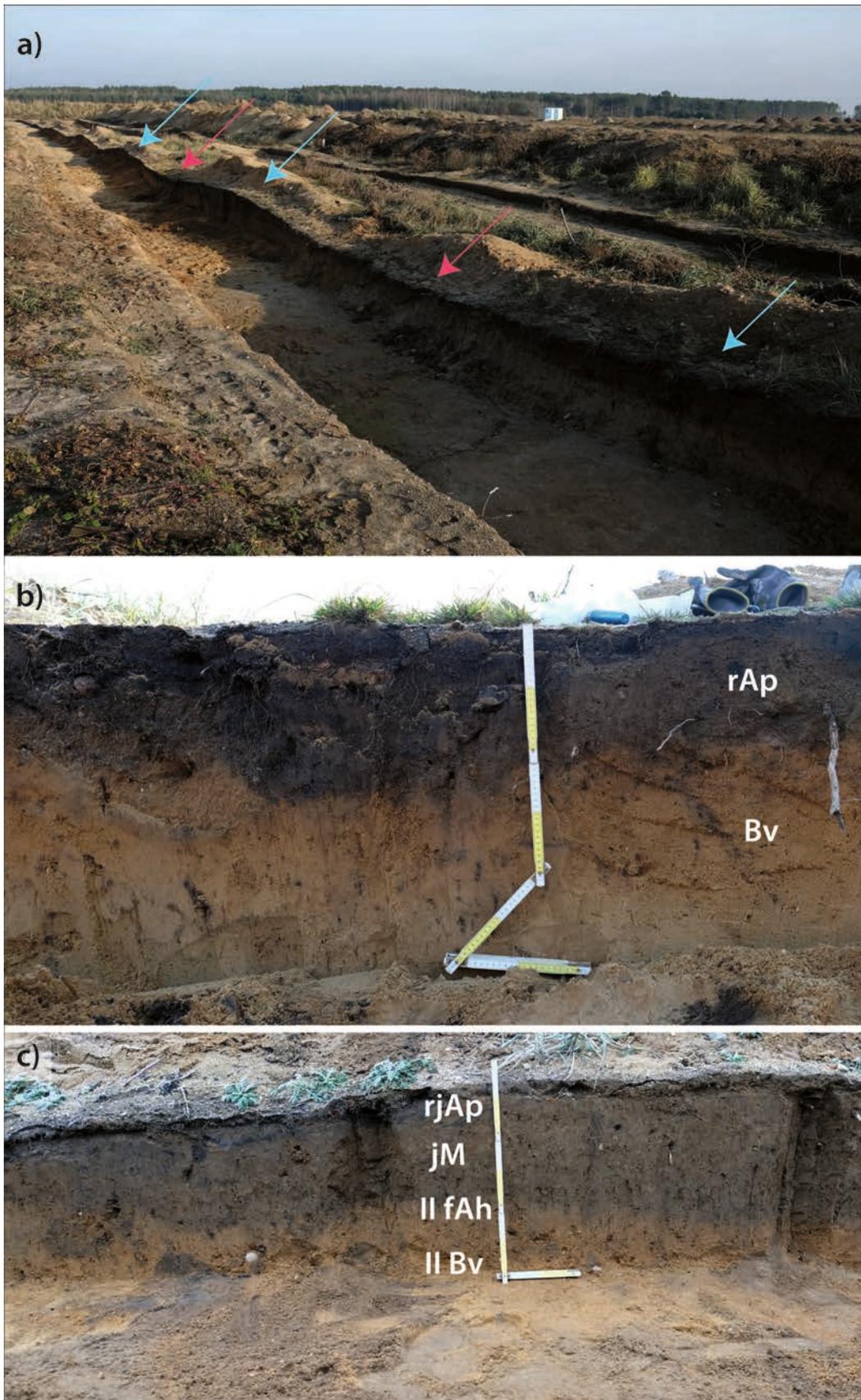


Abb. 1: a) Wölbäcker im Tagebauvorfeld Jänschwalde, nordwestlich der Ortschaft Grieben (roter Pfeil: Fahre; blauer Pfeil: Kuppe); b) Bodenprofil in der Fahre; c) Bodenprofil auf der Kuppe

Fig. 1: a) Ridge and furrow systems in the forefield of the opencast mine Jänschwalde, northwest of Grieben (red arrow: furrow; blue arrow: ridge); b) soil profile in the furrow; c) soil on the ridge

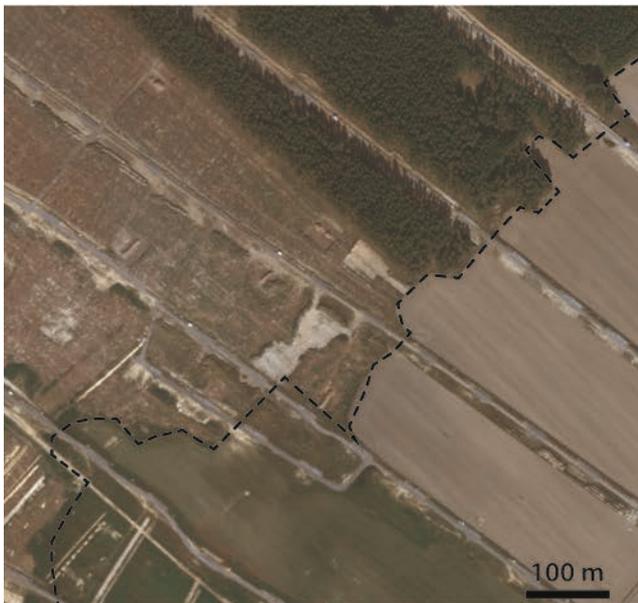
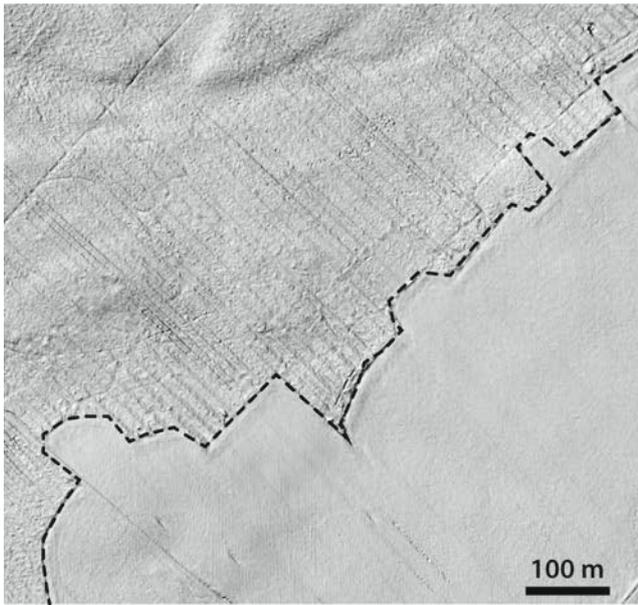


Abb. 2:

a) Wölbäcker bei Grieben sind unter rezenter Forstnutzung in der schattenplastischen Reliefkarte deutlich erkennbar, Waldgrenze (gestrichelte Linie) vor Beginn der Beräumungsmaßnahmen.

b) Auf den rezent landwirtschaftlich genutzten Flächen sind die Strukturen der Wölbäcker fernerkundlich kaum noch feststellbar, identischer Ausschnitt wie a).

Quelle Luftbild: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

Fig. 2:

a) Ridge and furrow system nearby Grieben with clearly visible structures in a shaded relief map (SRM), forest border (dashed line) before clearing. b) On present agricultural land ridge and furrow structures are hardly identifiable by remote sensing; same area as in a).

Source aerial photograph: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

Nutzung vorliegt, können gemäß KA5 (AD-HOC-AG BODEN 2005) und in Anlehnung an HIRSCH et al. (2018A, 2018B) die Oberböden als reliktsche Ackerhorizonte angesprochen werden (rAp-Horizonte bzw. rjAp bei aufgetragenem Material in Kuppensituationen). Dieser Pflughorizont hat dabei oft eine geringe Mächtigkeit zwischen 10 bis 15 cm und unterscheidet sich damit deutlich von jüngeren bzw. rezenten Ackerstandorten mit konventioneller Bodenbearbeitung, bei denen der Ap bis zu 30 cm mächtig ist. Im Gegensatz zum Oberboden in der Fahre liegt der darauf folgende Unterboden unterhalb der Pflugsohle und ist daher in der Regel nicht von der früheren ackerbaulichen Nutzung geprägt, weist also keine entsprechenden Spuren oder Hinweise auf. Auf den Kuppen ist Auftrag von mineralischem Material aus den Fahren vorhanden und erreicht Mächtigkeiten zwischen 20 bis 50 cm. Bemerkenswerterweise finden sich in archäologischen Grabungen unterhalb der Wölbäckerkuppen auch begrabene fossile Oberböden (Abb. 1c), die darauf

deuten, dass die Kuppen nicht immer durch kontinuierliches Aufwachsen infolge von Pflügen entstanden sein müssen. Die Kuppen der Wölbäcker besitzen ähnlich wie die Fahren humose Oberböden, die eine charakteristische Pflugsohle aufweisen. Im archäologischen Planum finden sich darüber hinaus auch Spatenspuren, die landwirtschaftliche Nutzung belegen. Zu berücksichtigen ist, dass die chronologische Einordnung des Pflügens zumindest an den untersuchten Standorten oft problematisch ist, da eventuell spätere und damit nicht mehr mit der Nutzung als Wölbäcker im Zusammenhang stehende Pflugereignisse im Rahmen von ackerbaulicher Nutzung oder auch Waldpflug etc. nicht immer eindeutig identifiziert werden können.

Hinsichtlich der bodenkundlichen Ansprache von Wölbäckern führt der anthropogene Auftrag von natürlichem Substrat mittels Bodenbearbeitung im Bereich der Wölbäckerkuppe zur Ansprache als rjAp/jM-Abfolge. Je nach Mächtigkeit der M-Horizonte sind die Böden auf den Kup-

pen von Wölbäckern auf den zu Verbraunung tendierenden Substraten der Niederlausitz als kolluviale Braunerden (jM-Horizont < 40 cm) bzw. Kolluvien (jM-Horizont > 40 cm) anzusprechen.

## 2. Kohlenmeiler

Das Brandenburgische Landesamt für Denkmalpflege und Archäologisches Landesmuseum (BLDAM) hat im Braunkohlentagebau Jänschwalde mehr als 1400 Grundrisse ehemaliger Rundmeiler erfasst und archäologisch aufgenommen (mündl. Mitteilung M. SCHNEIDER, Stand: September 2019 sowie RÖSLER et al. 2012). Die in den Meilern hergestellte Holzkohle versorgte vor allem das Eisenhüttenwerk in Peitz, wo von 1554 bis 1856 Raseneisenerz verhüttet und zu Roheisen verarbeitet wurde (MÜLLER 2017). Weiterführende SRM-Analysen in den Forstgebieten nördlich und östlich von Peitz haben gezeigt, dass im gesamten ehemaligen Königlich Tauerischen Forstrevier mindestens 6000 HKM vorhanden sind (RAAB A. et al. 2015, 2019). Mit Meilerdichten von stellenweise mehr als 440 HKM/km<sup>2</sup> ist dieses Areal regelrecht übersät mit ehemaligen Kohlenmeilerplätzen (Abb. 3). In einigen Forstabschnitten beträgt der Flächenanteil der Meilerplätze über drei Prozent (RAAB A. et al. 2019).

Aufgrund der hohen Meilerdichte sind HKM nicht nur aus archäologischer Sicht interessant. Es stellt sich darüber hinaus die Frage, welche Relevanz Meilerplätze für die Verbreitung und Eigenschaften der Böden sowie Standortbedingungen und Ökologie besitzen. Seit mehreren Jahren rücken daher Meilerböden in den Fokus bodenkundlicher und geoökologischer Untersuchungen (HIRSCH et al. 2019, MASTROLONARDO et al. 2019, CARRARI et al. 2018, HARDY et al. 2016). Eine wesentliche Erkenntnis der jüngeren Forschung ist, dass sich HKM-Böden von Böden in der direkten Umgebung meist deutlich unterscheiden, insbesondere was Horizontabfolge und Substratzusammensetzung sowie teilweise auch physikalische und chemische Eigenschaften betreffen. Diese Unterschiede sind einerseits bedingt durch die meist unvollständige Beräumung der Meilerplattform nach dem Brand, so dass typische Kleinformen entstehen (Abb. 4). Auf diesen HKM liegen typischerweise Reste von Holzkohlen (oft in feiner Form) und durch Hitze verändertes organisches oder mineralisches Material, welches der Meilerabdeckung diente. Dieses sogenannte Meilersubstrat ist im Tauerischen Forst in der Regel zwischen 10 bis 40 cm mächtig und hat eine markant dunkle, oft sogar schwarze Farbe. Andererseits finden sich an der Meilerbasis oft rötlich gefärbte Bereiche, wo in den überdeckten Bodenhorizonten durch die Hitzeeinwirkung Hämatit gebildet wurde

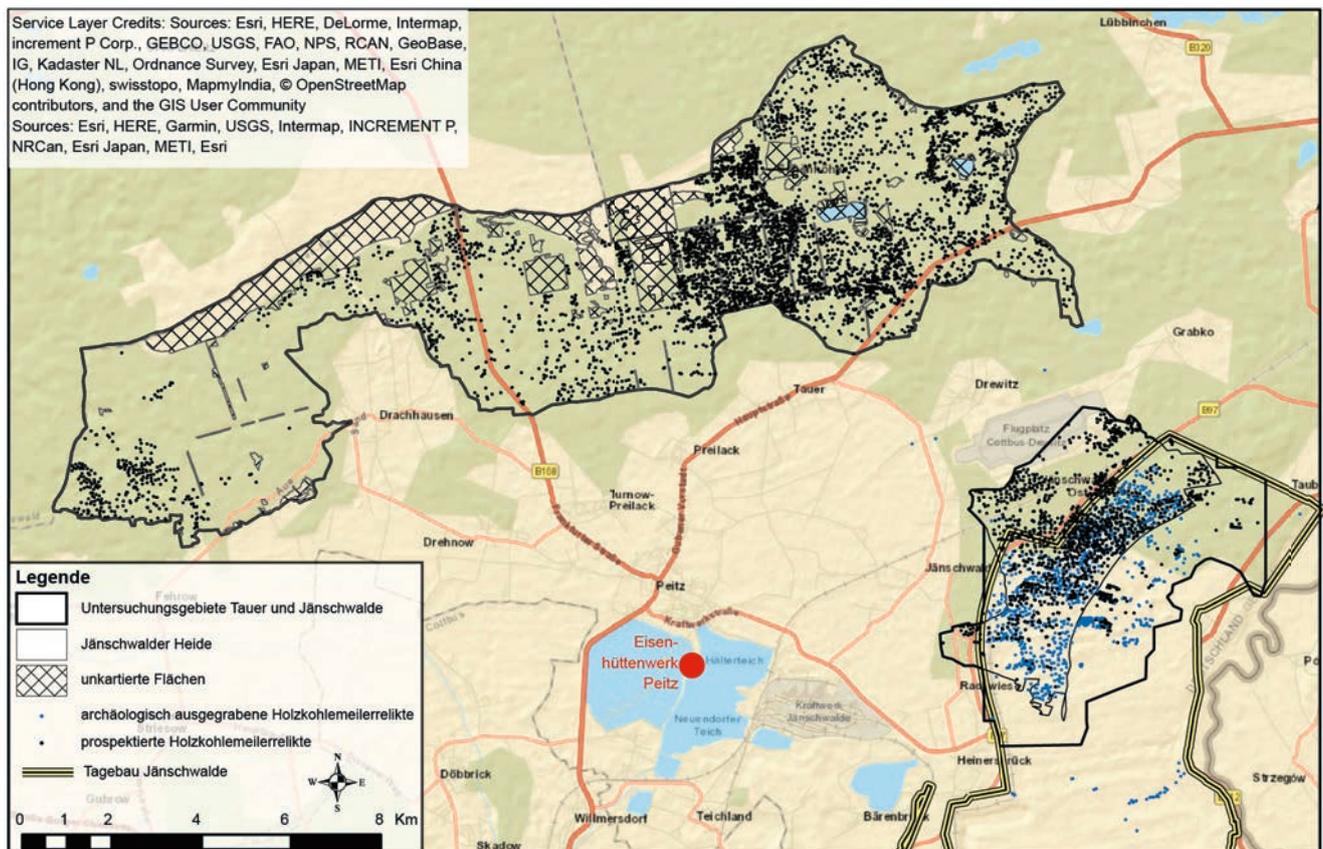


Abb. 3: Holzkohlenmeilerrelikte im ehemaligen Königlich Tauerischen Forstrevier nördlich und östlich des Eisenhüttenwerkes in Peitz (Kartierung Stand 2018). Aus RAAB et al. (2019)

Fig. 3: Relict Charcoal Hearths (RCH) in the former Royal Forest District Tauer north and east of the ironworks Peitz (Mapping from 2018). From RAAB et al. (2019)

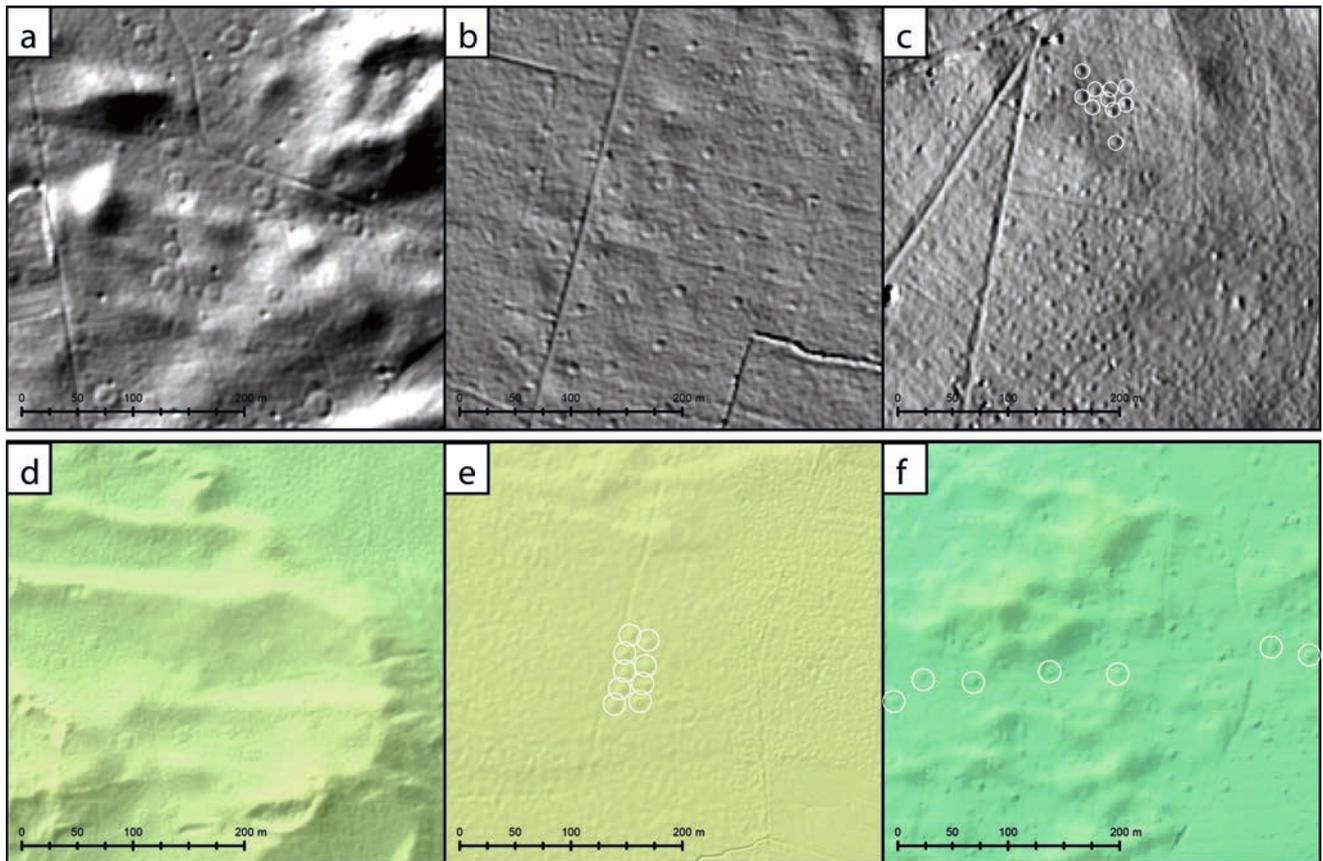


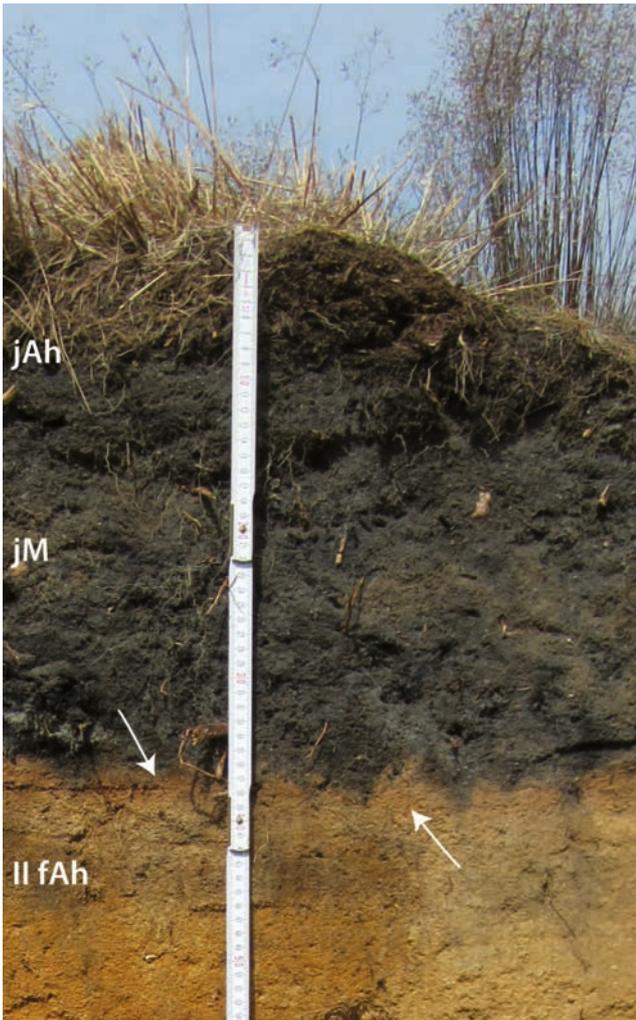
Abb. 4: Beispiele für HKM in unterschiedlicher Größe und räumlicher Verteilung in aus dem DGM2 abgeleiteten Schummerungskarten (oben) und im DGM1-WMS (unten, Geobasisdienste: © GeoBasis-DE/LGB). a) HKM mit unterschiedlichen Durchmesser in ungleichmäßiger Verteilung, teils mit deutlich erkennbaren benachbarten Gruben, b) relativ kleine, innerhalb einzelner Jagen regelmäßig angeordnete HKM, c) große Gruppe von sehr kleinen HKM, d) HKM mit unterschiedlichen Durchmesser in ungleichmäßiger Verteilung in einem Binnendünengebiet, e) Gruppe von großen HKM in regelmäßiger Anordnung, f) relativ kleine, unregelmäßig geformte bzw. gestörte HKM in großer räumlicher Dichte. Im Geländebefund verifizierte HKM sind weiß umrandet dargestellt. Aus SCHNEIDER et al. (2019)

Fig. 4: Examples for RCHs with different size and spatial distribution patterns, as depicted in shaded relief maps (SRM) derived from digital elevation models (above: SRM based on DGM2, below: DGM1-WMS, © GeoBasis-DE/LGB). a) RCHs with different diameters in unregular spatial distribution and adjacent pits, b) small RCHs in regular spatial distribution within forest compartments, c) large cluster of small RCHs, d) RCHs with different diameters in unregular distribution in an inland dune area, e) cluster of large RCHs in a regular spatial pattern, f) small, irregularly-shaped and partly disturbed RCHs in high spatial density. White outlines mark RCHs verified in field surveys. From SCHNEIDER et al. (2019)

(Abb. 5). Dagegen ist der Humusgehalt im fossilen Oberboden oft geringer als in umliegenden rezenten Oberböden, was vor allem auf einen hitzeinduzierten Abbau organischer Bodensubstanz während des Meilerbrandes zurückgeführt werden kann. Trotz der oben genannten charakteristischen Merkmale ist die feldbodenkundliche Ansprache im dunklen, schwer differenzierbaren Meilersubstrat problematisch. Hohe C-Gehalte, die sowohl pedogen durch den „klassischen“ Abbau organischen Materials als auch pyrogen durch die Verkohlung bedingt sind, erschweren die bodensystematische Differenzierung ebenso wie die unzureichenden Kartierschlüssel für technogene bzw. anthropogene Horizonte in der derzeit gültigen Fassung der Bodenkundli-

chen Kartieranleitung (AD-HOC-AG BODEN 2005, HIRSCH et al. 2018A, 2018B).

Im Rahmen eines DFG-Forschungsprojekts finden seit mehreren Jahren Untersuchungen an typischen Meilerböden der Niederlausitz statt (SCHNEIDER et al. 2019, 2018, HIRSCH et al. 2018A). Bodenaufbau und -eigenschaften von Meilerrelikten im Tauerischen Forst werden an Standorten mit dem dort weit verbreiteten sandigen Ausgangssubstrat untersucht. Exemplarisch für diese Standorte ist Meiler HKM 29239, der östlich des Kleinsees in einem Mischwald aus Traubeneichen (*Quercus petraea* Liebl.) und Kiefern (*Pinus sylvestris* L.) liegt (Abb. 6) und von SCHNEIDER et al. (2019) ausführlicher beschrieben wurde. Der untersuchte



*Abb. 5:  
Horizontabfolge eines Holzkohlenmeilers im Tagebau Jänschwalde. Im Übergangsbereich an der Basis des kohlereichen Substrats und dem begrabenen Oberboden weist ein ca. 2 cm mächtiger Bereich mit rötlicher Färbung (weiße Pfeile) auf die thermische Beanspruchung der Mineralfraktion hin.*

*Fig. 5:  
Pedostratigraphy of a RCH in the opencast mine Jänschwalde. The presence of an about 2 cm thick reddish contact zone (white arrows) between the charcoal rich substrate and the buried topsoil below indicates the impact of heat on the minerals.*

Meiler hat einen Durchmesser von 18,5 m und ist gemäß dendrochronologischer Untersuchung an aus der Grabenfüllung stammenden Kohlestücken in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts angelegt worden (Fälldatum der verkohlten Kiefern zwischen 1729 und 1736 AD nach Analyse durch Dr. HEUSSNER, DAI Berlin, Labor-Nr. C87058 bis C87068). Im Umfeld des Meilers ist eine sandige Braunerde mit schwacher initialer Podsolierung vorhanden (Profil 1, Abb. 6). In der Mitte der Meilerplattform ist dieser Referenzboden von einer 28 cm mächtigen, dunkelgrauen und kohlereichen technogenen Schicht bedeckt (Profil 3, Abb. 6). In dieser sogenannten Meilerschicht sind zahlreiche Wurzeln und insbesondere Feinwurzeln zu finden. Darunter liegt der fossilisierte Oberboden (fAh-Horizont), der ähnliche Merkmale und Mächtigkeit wie der Ah-Horizont des Referenzprofils 1 aufweist. Vergleichbare Befunde zu Aufbau und Kennzeichen von HKM-Böden im Tauersehen Forst sind von HIRSCH et al. (2018A) vorgelegt worden. Insbesondere zeigt sich auch hier, dass im Einzugsgebiet des Hüttenwerks Peitz bei der Errichtung der Meilerstellen die Oberböden nicht oder nur sehr geringmächtig abgetragen wurden. Auch die typische Mächtigkeit des Meilersubstrats von 20 bis 40 cm ist ähnlich wie in anderen Teilen des Tauersehen Forsts.

Am Randbereich der Meilerplattform hat der Boden grundsätzlich einen vergleichbaren Aufbau (Profil 4, Abb. 6), allerdings ist das kohlereiche Meilersubstrat mit 19 cm weniger mächtig, weist weniger Kohlestücke im Grobboden (<2mm) auf und ist schlierenförmig mit mineralischem Substrat durchmischt. Typisch für die Rundmeiler der Niederlausitz ist ein umlaufender Graben, der nach oder während der Beräumung mit meist dunklem Meilersubstrat verfüllt wurde (RÖSLER et al. 2012). Am HKM 29239 ist diese Verfüllung 50 cm mächtig (Profil 2, Abb. 6), an der Basis sind relativ grobe Kohlstücke zu finden, darüber liegt ein sandiges Material und oben im Profil nimmt der Kohleanteil wieder zu. Das Meilersubstrat im Grabenprofil ist ähnlich wie im zentralen Bereich des Meilers (Profil 3) intensiv durchwurzelt, während in den mineralisch dominierten Profilabschnitten bzw. den seitlich angrenzenden mineralischen Horizonten wenig Wurzeln zu finden sind. Die physikalischen und chemischen Kennwerte betreffend, ist das augenfälligste Charakteristikum von Meilerböden der hohe Gehalt an Kohlenstoff. In der Mitte der Meilerplattform weist schon die Geländeansprache einen sehr hohen Anteil an Kohlestücken aus, was durch die Laboranalyse bestätigt wird (Tab. 1). In den obersten Dezimetern von Meilerschicht und Grabenfüllung liegt der Anteil grober

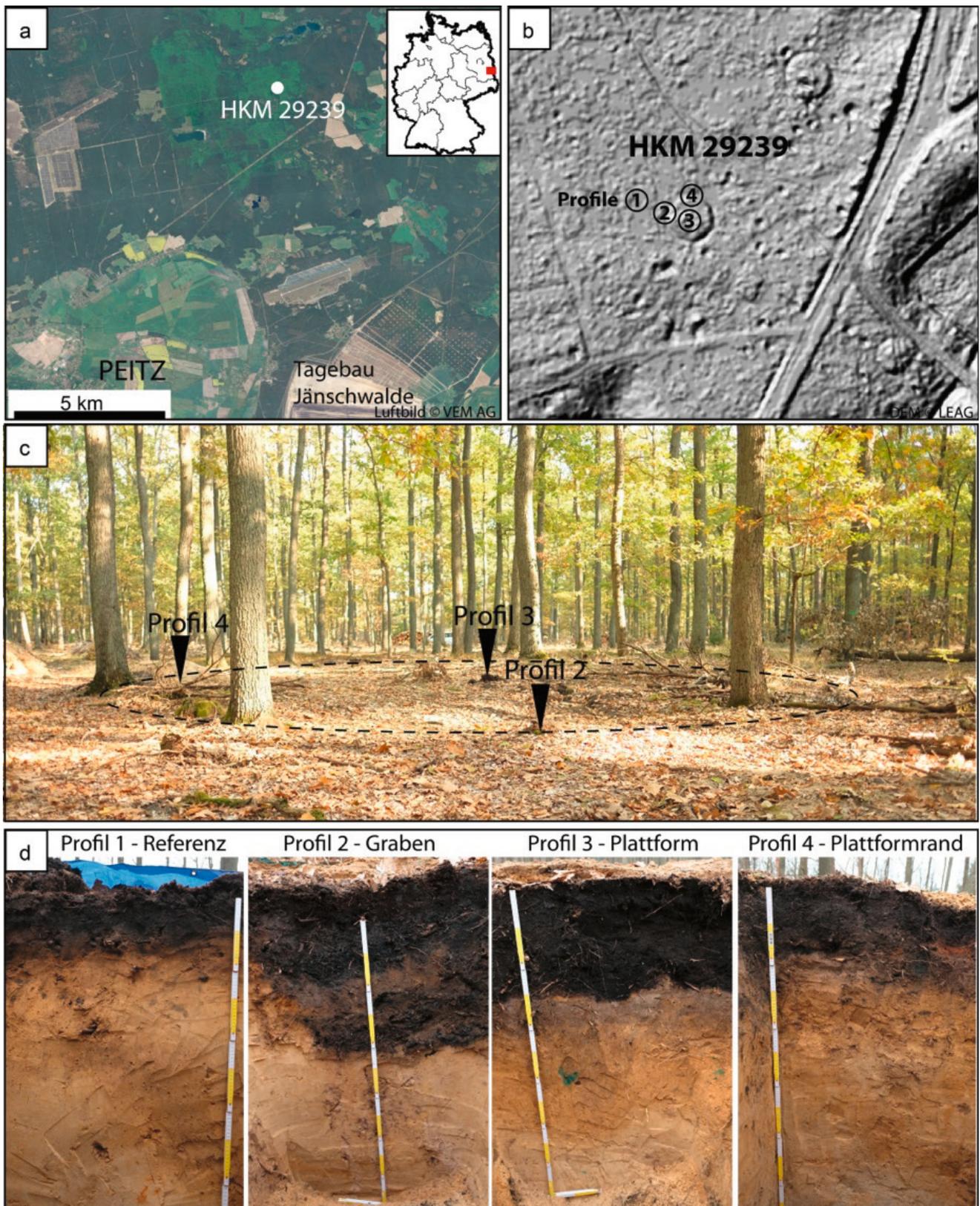


Abb. 6: Lage des HKM 29239 im Tauerischen Forst, nordöstlich des Kleinsees, a) der HKM in der Schummerungskarte, b) und im Geländebefund, c) sowie Position und Fotos der untersuchten Profile (b, c und d). Aus SCHNEIDER et al. (2019)

Fig. 6: Location of RCH 29239 in the Royal Forest Tauer, northeast of the Kleinsee, a) RCH in shaded relief map (SRM), b) in field situation, c) and position and pictures of the studied profiles (b, c, and d). From Schneider et al. (2019)

Profil/Horizont	Tiefe [cm]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	pH in CaCl <sub>2</sub>	Kohlestücke > 2mm [% des Gesamtgewichts]	LOI < 2mm [%]
Referenzprofil außerhalb der Meilerplattform (Profil 1)							
Ah	0-4	86.2	11.0	2.8	3.1	0.3	6.4
Ah	4-8	89.8	7.1	3.1	3.2	0.2	4.4
Bv-Ah	8-15	92.3	4.9	2.8	3.6	0	1.9
Ah-Bv	15-22	93.6	4.4	2.1	4.3	0	1.1
Ah-Bv	22-32	94.0	4.8	1.3	4.3	0	0.7
Bv	32-42	95.7	3.3	1.0	4.4	0	0.4
Bv	42-52	94.7	4.0	1.3	4.3	0	0.3
Bv	52-59	95.7	3.6	0.8	4.2	0	0.3
Bv	59-69	95.4	3.6	1.0	4.4	0	0.3
Cv+rGo	69-79	95.7	3.5	0.8	4.3	0	0.2
Cv+rGo	79-89	96.2	2.8	1.0	4.3	0	0.2
Cv+rGo	89-99	94.7	4.3	1.0	4.2	0	0.2
Meilergraben (Profil 2)							
Grabenfüllung	0-17	88.9	8.2	2.8	2.8	5.2	13.0
Grabenfüllung	17-30	89.9	7.6	2.5	4.0	0.3	2.1
Grabenfüllung	30-44	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
II fBv	44-64	97.5	1.8	0.8	4.2	0	0.2
Meilerplattform (Profil 3)							
Meilerschicht	6-20	94.4	4.3	1.3	3.0	5.1	13.1
Meilerschicht	20-28	93.4	4.6	2.0	3.5	29.3	32.8
II fAh	28-43	91.5	5.9	2.6	4.0	0	2.0
II fBv-Ah	43-56	92.1	5.4	2.6	4.2	0	0.9
II fBv	56-69	91.6	6.4	2.0	4.1	0	0.7
Randbereich der Meilerplattform (Profil 4)							
Meilerschicht	0-8	86.1	10.4	3.5	2.9	1.1	7.7
Meilerschicht	8-16	92.1	5.3	2.5	3.3	0.8	4.7
Meilerschicht	16-19	90.1	6.9	3.0	3.7	0.2	2.7
II fAh	19-29	90.0	7.2	2.8	4.0	0	1.5
II fBv-Ah	29-55	91.8	6.1	2.0	4.2	0	0.8
II fBv	55-94	93.6	4.6	1.8	4.2	0	0.4

Tab. 1: Bodeneigenschaften am HKM 29239, Waldschule Kleinsee. Aus SCHNEIDER et al. (2019)

Tab. 1: Soil properties at RCH 29239, Waldschule Kleinsee. From SCHNEIDER et al. (2019)

Kohlestücke (> 2 mm) bei etwa 5% des Gesamtgewichts. In der Feinfraktion (< 2 mm) wird in diesen Horizonten mittels Glühverlust (Loss On Ignition, LOI) ein Corg-Gehalt von ca. 13% bestimmt, wobei durch diese Methode keine Differenzierung der pyrogenen und pedogenen Fraktion erfolgt. Bei den pH-Werten lassen sich keine Unterschiede zwischen Meiler- und Referenzboden feststellen. Die Meilerschicht weist allerdings im Ah-Horizont höhere Sand- und geringere Tongehalte auf, wie sie auch von HIRSCH et al. (2018A) für andere Standorte im Tauerschen Forst beschrieben sind. Erklärbar ist dies durch die Verwendung relativ sandiger Substrate aus Bv- und Cv-Horizonten für die Abdeckung der Meiler zur Verhinderung von Luftzutritt bei der Verkohlung. Nach dem Brand können sich so die Sandfraktionen aus den Decks substraten auf der Meilerplattform anreichern.

### 3. Schlussfolgerungen

Reliktische Wölbäcker und Holzkohlenmeiler sind zwei Formen der ehemaligen Landnutzung, die in der Lausitz weit mehr als bisher bekannt die Bodenlandschaft prägen. Grundlegende Merkmale und Kennzeichen der Böden wie etwa Profilaufbau, Korngrößenverteilung und Humusgehalt werden durch anthropogene und/oder technogene Prozesse gesteuert. Aufgrund der weiten Verbreitung und der teilweise starken Veränderung physikalischer und chemischer Eigenschaften besitzen diese Böden nicht nur eine wichtige Archivfunktion, sondern sind auch aus geoökologischer Sicht sehr relevant. Noch vollkommen ungeklärt sind die biologischen und vor allem mikrobiologischen Eigenschaften, die bei weiteren Forschungen besonders betrachtet werden sollten.

### Literatur

AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODENDER GEOLOGISCHEN LANDESÄMTER UND DER BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. – 5. Aufl., Hannover

BÖNISCH, E. (2013): Forschungspotenzial der Braunkohlenarchäologie zu Besiedlung, Landnutzung, Landschaftsentwicklung und Klimawandel. In: RAAB, T., RAAB, A., GERWIN, W., SCHOPPER, F. (Hrsg.): Landschaftswandel - Landscape Change. – Geopedology and Landscape Development Research Series **1**, S. 25–68

BÖNISCH, F. (2001): Wölbäcker als Kennzeichen früherer Gewinnfluren. – In: KUNOW, J. (Hrsg.): Ausgrabungen im Niederlausitzer Braunkohlenrevier 2000, S. 203–212

CARRARI, E., AMPOORTER, E., BUSSOTTI, F., COPPI, A., NOGALES, A. G., POLLASTRINI, M., VERHEYEN, K. & F. SELVI (2018): Effects of charcoal hearth soil in forest regeneration: Evidence from a two-year experiment on tree seedlings. – *Forest Ecology and Management* **427**, S. 37–44

EVERT, L. T. (1774): Charte von Grissen, zum Ordens Amte Schenkendorff gehörig, ist vermessen und diese Charte nebst Register angefertigt im Monath August durch L. T. Evert. – Geheimes Staatsarchiv Preußischer Kulturbesitz Berlin, Plankammer der Reg. Frankfurt (O.), B 352

HIEROLD, W., NAGEL, D. (2001): Die Wölbäcker von Natteheide (Brandenburg) – Zeugnisse historischer Landnutzung. – GCA-Verlag (Herdecke)

HARDY, B., CORNELIS, J.-T., HOUBEN D., LAMBERT, R. & J. E. DUFEY (2016): The effect of pre-industrial charcoal kilns on chemical properties of forest soil of Wallonia, Belgium. – *European Journal of Soil Science* **67**, S. 206–216

HIRSCH, F., SCHNEIDER, A., BAURIEGEL, A., RAAB, A., RAAB, T. (2018A): Formation, Classification, and Properties of Soils at Two Relict Charcoal Hearth Sites in Brandenburg, Germany. – *Frontiers in Environmental Science* **6**

HIRSCH, F., RAAB, T., OUMET, W., DETHIER, D., SCHNEIDER, A. & A. RAAB (2018B): Soils on historic charcoal hearths: Terminology and chemical properties. – *Soil Science Society of America Journal* **81**, S. 1427–1435

HIRSEKORN, V. (2003): Äcker unter Dünen im Vorfeld des Tagebaus Cottbus-Nord. In: KUNOW, J. (Hrsg.): Ausgrabungen im Niederlausitzer Braunkohlenrevier 2001 – Arbeitsberichte zur Bodendenkmalpflege in Brandenburg **11**, S. 155–162

MASTROLONARDO, G., CALDERARO, C., COCOZZA, C., HARDY, B., DUFEY, J. & J.-T. CORNELIS (2019): Long-term effect of charcoal accumulation in hearth soils on tree growth and nutrient cycling. – *Frontiers in Environmental Science* – in press

MEIBEYER, W. (1969): Über den Profilaufbau des Pflughorizontes in Wölbäckern. – *Zeitschrift für Agrargeschichte und Agrarsoziologie* **17**, S. 161–170

MÜLLER, F. (2017): Der Wandel der Kulturlandschaft im Raum Peitz infolge des mehrhundertjährigen Betriebes des dortigen Hüttenwerkes (Mitte 16. bis 19. Jahrhundert) – *Geopedology and Landscape Development Research Series* **5**,

NOACK, D. & M. WULF (2019): Automatisierte Erkennung von Wölbäckern mittels DGM am Beispiel Prignitz (Nordwest Brandenburg). – In: RAAB, T., RAAB, A. & F. SCHOPPER (Hrsg.): Erfassung und Bewertung von vorindustriellen Meilerstandorten. – Workshop 19. Februar 2019, *Geopedology and Landscape Research Series* **8**, S. 99–141

RAAB, A., TAKLA, M., RAAB, T., NICOLAY, A., SCHNEIDER, A., RÖSLER, H., HEUSSNER, K.-U. & E. BÖNISCH (2015): Pre-industrial charcoal production in Lower Lusatia

- (Brandenburg, Germany): Detection and evaluation of a large charcoal-burning field by combining archaeological studies, GIS-based analyses of shaded-relief maps and dendrochronological age determination. – *Quaternary International* **367**, S. 111–122
- RAAB, A., BONHAGE, A., SCHNEIDER, A., RAAB, T., RÖSLER, H., HEUSSNER, K.-U. & F. HIRSCH (2019): Spatial distribution of relict charcoal hearths in the former royal forest district Tauer (SE Brandenburg, Germany). – *Quaternary International* **511**, S. 153–165
- RAAB, T., RAAB, A., HIRSCH, F., SCHNEIDER, A., BONHAGE, A. & M. AGTHE (2019): Historische Köhlerei und ihre Hinterlassenschaften – Ein Überblick. In: RAAB, T., RAAB, A. & F. SCHOPPER (Hrsg.): Erfassung und Bewertung von vorindustriellen Meilerstandorten - Workshop 19. Februar 2019, – *Geopedology and Landscape Research Series* **8**, S. 1–21
- RÖSLER, H., BÖNISCH, E., SCHOPPER, F., RAAB, T. & A. RAAB (2012). Pre-industrial charcoal production in southern Brandenburg and its impact on the environment. – In: KLUIVING, S. & E. GUTTMANN-BOND (eds.): *Landscape Archaeology between Art and Science*, S. 167–178
- SCHNEIDER, A., HIRSCH, F., RAAB, A. & T. RAAB (2018): Dye tracer visualization of infiltration patterns in soils on relict charcoal hearths. – *Frontiers in Environmental Science* **6**
- SCHNEIDER, A., HIRSCH, F., RAAB, A. & T. RAAB (2019): The temperature regime of a charcoal-enriched land use legacy soil. – *Soil Science Society of America Journal* **83**, S. 565–574
- SCHNEIDER, A., HIRSCH, F., BONHAGE, A., RAAB, A. & T. RAAB (2019): Verbreitung und Eigenschaften von Meilerböden in Brandenburg. – In: RAAB, T., RAAB, A. & F. SCHOPPER (Hrsg.): Erfassung und Bewertung von vorindustriellen Meilerstandorten. – Workshop 19. Februar 2019 – *Geopedology and Landscape Research Series* **8**, S. 23–42
- SCHNEIDER, M. (2016): Äcker, Brunnen und Grenzen auf Griebener und Jänschwalder Flur im archäologischen Befund (Ausgrabungen 2013). – *Ausgrabungen im Niederlausitzer Braunkohlenrevier 2013/2014 –Arbeitsberichte zur Bodendenkmalpflege in Brandenburg* **30**, S. 131–144
- WULF, M. (2001): Kulturlandschaftsforschung in Brandenburg. Beispiel Wölbäcker in der Prignitz. – In: HARTEISEN, U., SCHMIDT, A. M. Z., WULF, M. (Hrsg.): *Kulturlandschaftsforschung und Umweltplanung*, S. 87–100

#### **Anschrift der Autoren**

Prof. Dr. Thomas Raab  
 Dr. Florian Hirsch  
 Dr. Alexandra Raab  
 Dr. Anna Schneider  
 Alexander Bonhage MSc

Brandenburgische Technische Universität  
 Cottbus-Senftenberg  
 Lehrstuhl für Geopedologie und Landschaftsentwicklung  
 Siemens-Halske-Ring 8  
 03046 Cottbus

thomas.raab@b-tu.de  
 florian.hirsch@b-tu.de  
 alexandra.raab@b-tu.de  
 anna.schneider@b-tu.de  
 alexander.bonhage@b-tu.de

Dr. Eberhard Bönisch  
 Brandenburgisches Landesamt für Denkmalpflege  
 und Archäologisches Landesmuseum  
 Referat Braunkohle  
 Altnauer Straße 5  
 03205 Calau

boenisch.calau@bldam-brandenburg.de

## Auswertung von Temperaturmessungen des Berliner Untergrundes über einen Zeitraum von 150 Jahren

### Evaluation of underground temperature measurements in Berlin over a period of 150 years

ALEXANDER LIMBERG & ANDREAS HENNING

#### 1 Beginn der Messungen 1869

##### Grundwassertemperaturmessungen

Mitte des neunzehnten Jahrhunderts grassierte in Mitteleuropa und so auch in Berlin die Cholera mit verheerenden Auswirkungen. Es bestand der Verdacht, dass das Grundwasser Überträger oder sogar Auslöser dafür sein könnte.

Deshalb wurden in Berlin die Grundwasserstände an 30 neu errichteten Grundwassermessstellen gemessen und auch Temperaturmessungen erhoben (Abb. 1). Die monatlichen Aufzeichnungen der Grundwassertemperatur erfolgten von September 1869 bis Ende 1873 (Abb. 2).

Während bei HOBRECHT (1871) die Messmethode zum Grundwasserstand ausführlich beschrieben ist, heißt es zur Grundwasser-Temperaturmessung lediglich: „Mit der Mes-

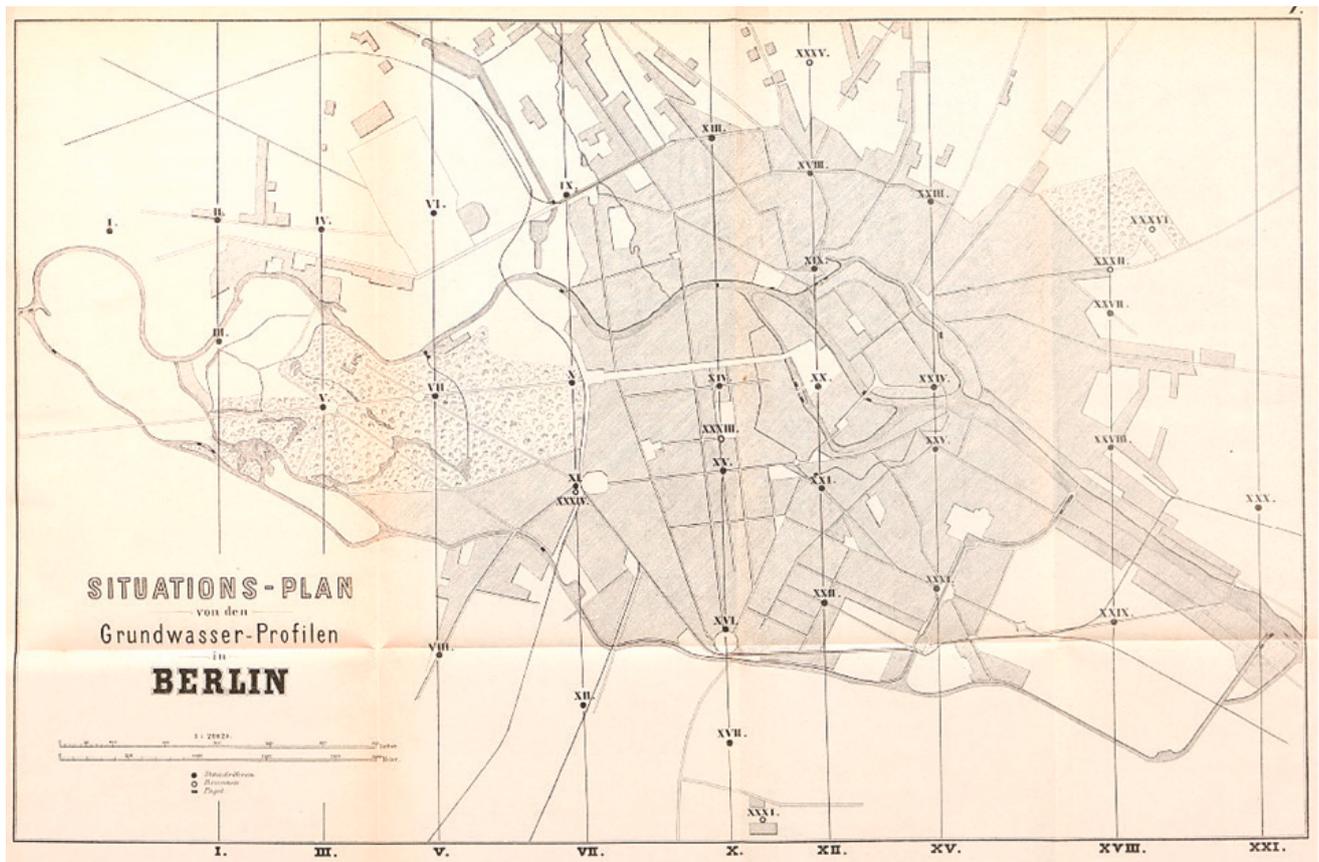


Abb. 1: Lageplan des ersten Grundwassermessnetzes von Berlin von 1869 mit 30 Grundwassermessstellen, an denen auch die Grundwassertemperatur gemessen wurde, außer an Messstelle I.

Fig. 1: Layout plan of the first groundwater monitoring network of Berlin in 1869 with 30 observation wells, where also the groundwater temperature was measured, except observation well no. I.

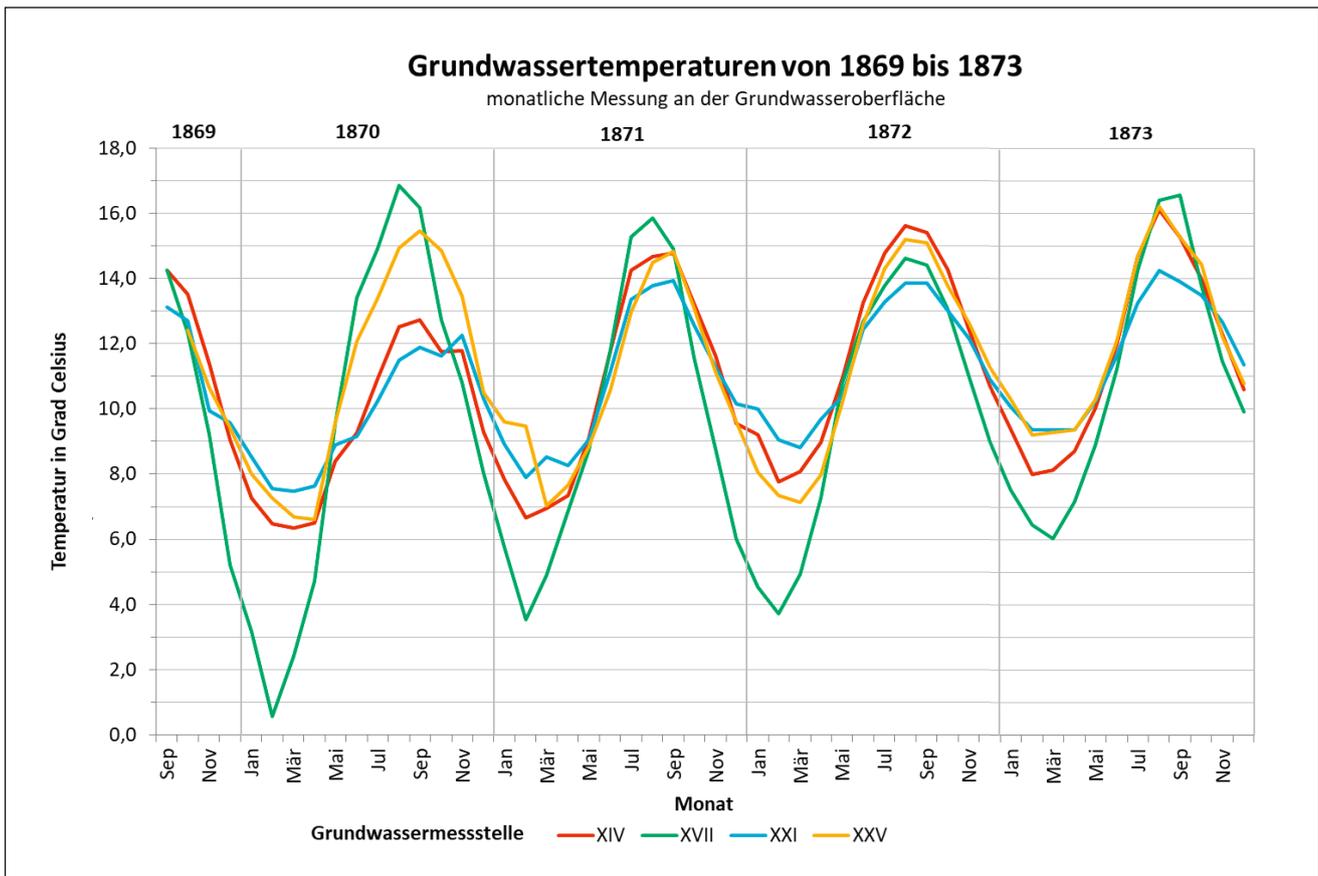


Abb. 2: Grundwassertemperaturganglinien vom September 1869 bis zum Dezember 1873 an vier von 29 Messstellen (Lage der Messstelle s. Abb.1)

Fig. 2: Temperature curves of four from 29 observation points beginning from September 1869 until December 1873, location of the observation points see fig. 1

sung des Grundwasserstandes wird zugleich eine Temperaturmessung vorgenommen.“ (HOBRECHT 1871: S. 259). Wie und in welcher Tiefe gemessen wurde, beschreibt er nicht. Es ist aber davon auszugehen - und die Messergebnisse legen das auch nahe -, dass die Temperaturmessungen an der Grundwasseroberfläche erfolgten. Hobrecht stellte bereits 1871 auswertend fest, „dass die durchschnittlich niedrigste Temperatur des Grundwassers im März, die durchschnittlich höchste im September beobachtet wird.“

Bei allen Messstellen ist qualitativ der gleiche Temperaturjahresgang mit niedrigen Temperaturen im Winter und hohen im Sommer zu beobachten. Es gibt jedoch an gleichen Zeitpunkten z.T. große Temperaturunterschiede, die im Winter, zum Beispiel im Februar 1870 bei  $-8,9$  Grad Celsius Oberflächentemperatur, bis zu  $7$  Kelvin<sup>1</sup> betragen können. Bei der Messstelle XVII betrug der Grundwasserflurabstand zu diesem Zeitpunkt nur  $1,2$  m und die Temperatur  $0,6$  Grad Celsius während bei der Messstelle XXI bei  $3,4$  m Flurabstand  $7,6$  Grad Celsius gemessen wurden (Abb. 1 und

<sup>1</sup> Da Temperaturdifferenzen in der Celsius- und Kelvin-Skala übereinstimmen, werden Differenzen vereinbarungsgemäß auch hier in Kelvin angegeben

2). Diese Differenz ist auf den abnehmenden klimatischen Temperatureinfluss zur Tiefe hin zurückzuführen.

Hobrecht konstatiert im Jahr 1874, dass die Jahresdurchschnittstemperatur aller gemessener Messstellen von 1870 bis 1873 stetig angestiegen ist: von  $7,94$  bis auf  $8,768$  Grad Reaumur (HOBRECHT 1874: S. 695), das entspricht  $6,35$  bis  $7,01$  Grad Celsius. Die Jahresmitteltemperatur der Luft war in diesem Zeitraum ebenfalls von  $6,9$  auf  $8,3$  Grad Celsius nach der BAUR- & BERKELEY-REIHE angestiegen.

## 2 Bodentemperaturmessungen

Da man glaubte, aus Untersuchungen zur Bodenwärme die Verbreitung und den Verlauf der Cholera besser ableiten zu können (PFEIFFER in VIRCHOW 1873: S. 49), wurden in Berlin 14 Bodentemperaturmessstellen nach Vorgaben von Pfeiffer eingerichtet (HOBRECHT 1874: S. 705):

„Diese sämtlichen Beobachtungsstellen sollen auf der Strasse, dem Hof oder Garten an geeigneter Stelle gemacht werden und zwar so:

1. es wird mit einem gewöhnlichen Brunnenbohrer das verticale Loch für das Beobachtungsrohr gemacht,

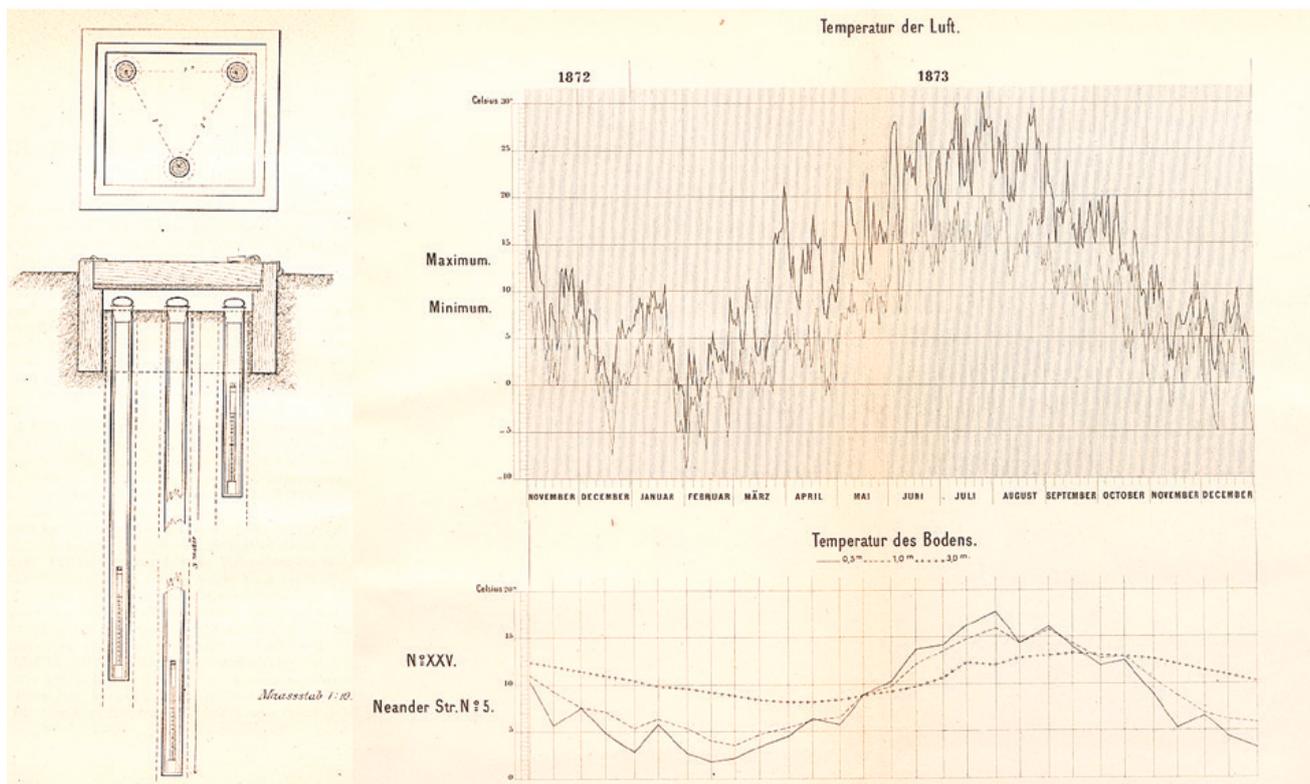


Abb. 3: Aufbau der Bodentemperaturmessstellen (links) und die Ganglinien der 14tägigen Temperaturmessungen in 0,5, 1,0 und 3,0 m Tiefe an der Messstelle (XXV) von November 1872 bis Dezember 1873 (rechts unten) sowie Messungen der Oberflächentemperatur (rechts oben) (Hobrecht 1874), Lage der Messstelle siehe Abb. 4

Fig. 3: Design of the soil temperature observation point (left) and graph of temperature measurements in a depth of 0.5 m, 1.0 m and 3.0 m during 14 days at a selected observation point (XXV) from November 1872 until December 1873 (bottom right) as well as measurements of the surface temperature (top right) (HOBRECHT 1874). Location of the observation point XXV, see fig. 4

2. demnächst das Rohr eingesetzt,
3. dann der Zwischenraum mit magerem Cementmörtel oder bloss mit Sand, welcher einzuschlämmen ist, ausgefüllt,
4. über den Rohren<sup>2\*)</sup> ist ein Holzkasten so einzusetzen, dass seine obere Fläche (ein Deckel) bindig mit der Terrain – Oberkante ist; der Deckel liegt etwa 1 Dm. über dem Rohrdeckel (Oberkante des Rohrs),
5. die Thermometer sind demnach so zu versetzen, dass die Thermometerkugel (Unterkante der Blechkapsel um die Kugel) genau ½ oder 1 oder 3 M. unter Terrainoberkante liegt,
6. der Zwischenraum zwischen Deckel und Beobachtungsröhr ist mit einem schlechten Wärmeleiter (Decke, Fries, Stroh), auszufüllen.

Die Bodentemperaturmessstellen errichtete man im Stadtkern in der Nähe der vorhandenen Grundwassermessstellen mit denselben Bezeichnungen (Abb. 4). Die Bodentempe-

2 Eine jede Beobachtungsstation besteht aus 3 Rohren, von je 0,5 M. 1 M. und 3 M. Länge, welche in Dreiecksform, mit 1 Fuss Entfernung von einander, abgesenkt werden; siehe die nebenstehende Zeichnung.“ (Abb. 3).

turen wurden zwischen November 1872 und Dezember 1873 jeweils am 1. und 15. des Monats abgelesen (Abb. 5). Die Abb. 5 zeigt, dass schon damals je nach Messstandort zum gleichen Messzeitpunkt eine Temperaturdifferenz von bis zu 5 Kelvin beobachtet werden konnte, die unter anderem auf unterschiedliche Wärme-flüsse zwischen der Atmosphäre und dem Untergrund in Abhängigkeit vom Bodenaufbau, der Siedlungsstruktur und den daraus resultierenden mikroklimatischen Verhältnissen zurückgeführt werden können.

Legt man die jeweilige Jahresdurchschnittstemperatur zugrunde, wurde in 3 m Tiefe unter der Geländeoberfläche die niedrigste Jahresdurchschnittstemperatur am Standort XXI mit 8,7 Grad Celsius und die höchste Jahresdurchschnittstemperatur am Standort XXVI mit 12,7 Grad Celsius gemessen.

Die Ursache für diese Abweichung lässt sich auf Grundlage der heute zur Verfügung stehenden Informationen zur damaligen Bebauung und Oberflächenversiegelung wie folgt interpretieren:

Die Messstelle XI lag im Bereich des Potsdamer Platzes in unmittelbarer Nähe zum damaligen Potsdamer Bahnhof mit Wohnbebauung und Gewerbe und hat deshalb einen höheren Wärmeeintrag. Die Messstelle XXI dagegen lag zum

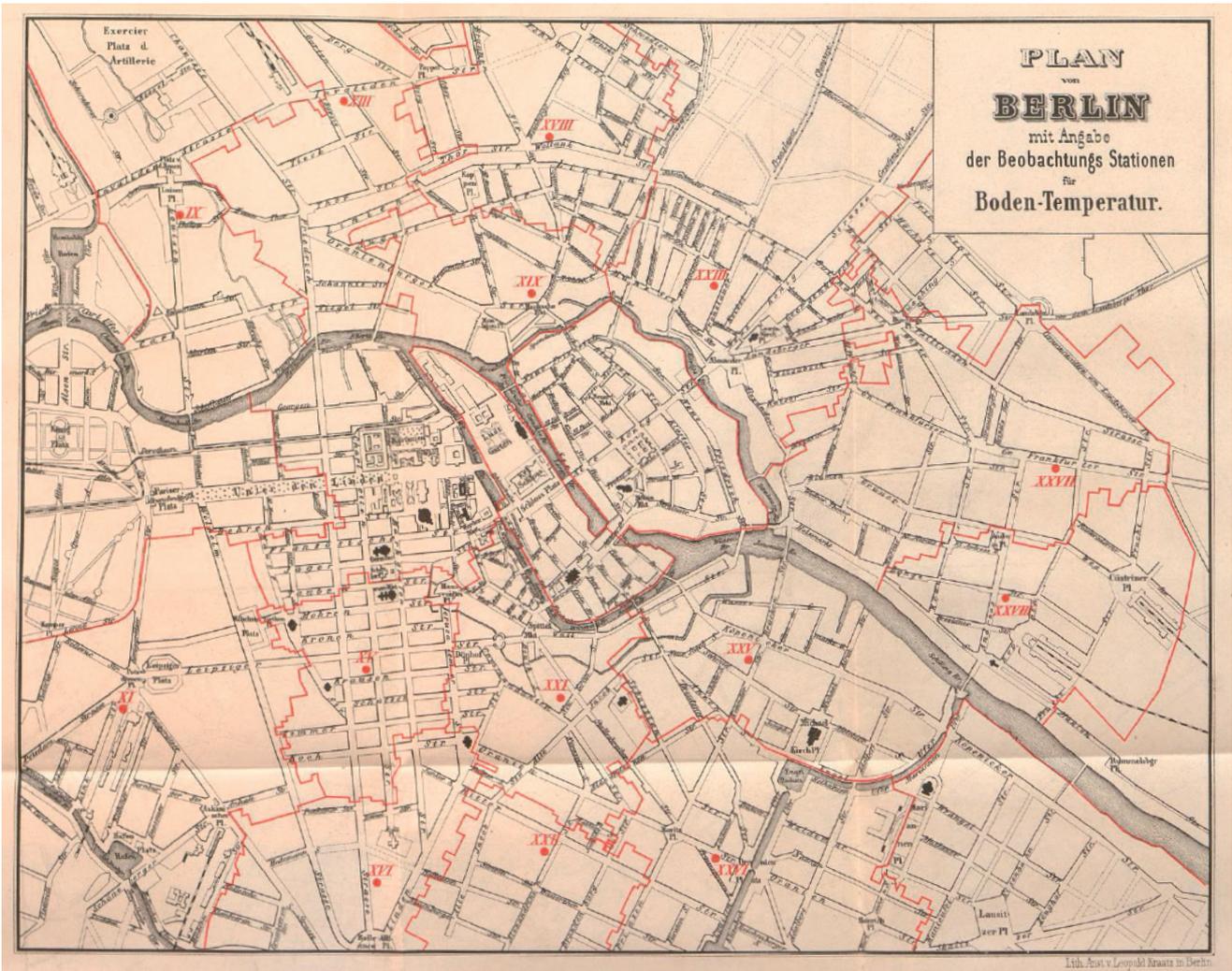


Abb. 4: Beobachtungsstationen der Bodentemperaturen 1872/1873 (nach Hobrecht 1874)

Fig. 4: Location of the observation points for the soil temperature 1872/1873 (modified after Hobrecht 1874)

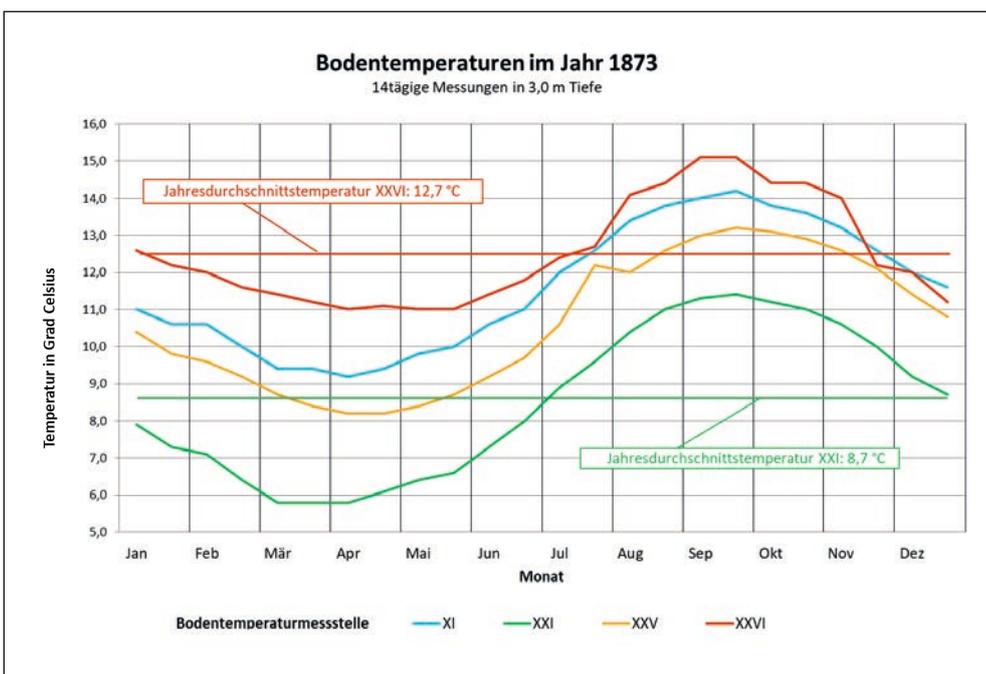


Abb. 5: Temperaturjahresgang in 3 m Tiefe unter der Geländeoberfläche im Jahr 1873 in vier von 14 Bodentemperaturmessstellen in Berlin, Lage der Messstellen siehe Abb. 4

Fig. 5: Temperature curve of year in a depth of 3 m below ground level for the measurements of 1873 in four from 14 observation points in Berlin, location of the observation points see fig. 4

Zeitpunkt der Messung in einem sogenannten Mischgebiet mit einem kleinen Anteil an Gartenbauflächen. Im Jahr 1850 wurde dieser Bereich jedoch noch annähernd vollständig als Gartenbaufläche ausgewiesen.

Es ist zusätzlich zu beachten, dass schon 1870 bei Lufttemperaturmessungen festgestellt worden ist (VIRCHOW, 1873: 47), dass je nach Lage des Messstandorts größere Temperaturunterschiede festzustellen sind: Bei Temperaturmessungen zwischen dem 1. Dezember 1869 bis zum 1. Mai 1880 wurde an höher gelegenen Stellen in der Umgebung Berlins, am Prenzlauer Tor, am Halleschen Tor und an der Tempelhofer Chaussee durchschnittlich tiefere Temperaturen mit teilweise größeren Temperaturschwankungen gemessen als in der Niederstadt.

### 3 Die Temperaturfelderkundungen in Berlin ab den 1970er Jahren bis heute

Seit den 1970er Jahren wurde das Berliner Temperaturfeld im Untergrund systematisch erkundet. In allen tiefen Grundwassermessstellen der damals durchgeführten Erkundungsbohrprogramme im ehemaligen Westteil des Stadtgebiets wurden Temperaturlogs oft bis über 100 m Tiefe gemessen (TRAPP 1983) und (OTTO 1987).

Die Messungen wurden überwiegend mit regelmäßig kalibrierten Temperaturlichtloten vorgenommen, deren Messgenauigkeit 0,1 Grad Celsius beträgt. Der Durchmesser der Sonden betrug nur 20 mm, so dass in allen Grundwassermessstellen problemlos gemessen werden konnte. In der Regel wurden in den Temperaturlogs jeden Meter ein Messwert erhoben, in Tiefen ab 50 bis 60 m alle 5 m.

Nach dem Fall der Berliner Mauer im Jahr 1989 wurde die flächenhafte Temperaturerfassung des Untergrundes auf ganz Berlin ausgedehnt (HENNING & LIMBERG 1995 und 2012).

Neben den vorhandenen tiefen Grundwassermessstellen

wurden unter anderem an ausgewählten Orten im Stadtgebiet spezielle Messstellen errichtet.

Es handelt sich dabei um filterlose mit Wasser gefüllte Rohre, die es ermöglichen, die Untergrundtemperatur bis an die Geländeoberkante zu messen und so die Amplitude und die Eindringtiefe der jahreszeitlichen Beeinflussung, den sogenannten Temperaturkelch zu ermitteln (HENNING & LIMBERG 2012). Die im Zuge der Messungen gewonnenen Temperaturdaten wurden ausgewertet und auf Karten dargestellt, die die Verteilung der Grundwassertemperatur in unterschiedlichen Tiefen im Untergrund von Berlin zeigen (Abb. 6) (GRUNDWASSTERTEMPORATUR 2015, UMWELTATLAS).

### 4 Ausgewählte Messergebnisse der oberflächennahen Temperaturmessungen bis ca. 20 m Tiefe

Um die Temperaturentwicklung im oberflächennahen Untergrund von 1873 bis heute nachvollziehen zu können, müssen die vorhandenen Aufzeichnungen der Lufttemperatur im Stadtgebiet berücksichtigt werden.

Für Berlin existiert eine der längsten Messreihen der Lufttemperatur weltweit. Die ersten Wetteraufzeichnungen begannen in Berlin schon im Jahr 1677 (CUBASCH & KADOW 2011).

Neben diesen Datensätzen gibt es zusätzliche Messdaten aus regelmäßigen Lufttemperaturmessungen und Klimabeobachtungen im Stadtgebiet von Berlin, die zu einem späteren Zeitpunkt einsetzen, wie zum Beispiel an den Messstellenstandorten Dahlem, Tempelhof, Tegel und Alexanderplatz. Die Abbildung 7 zeigt, dass an den einzelnen Messstellenstandorten deutliche Unterschiede in den jeweiligen mittleren Jahreslufttemperaturen zu beobachten sind. Bezogen auf den Messstandort Dahlem (FU) liegen an der Station Tempelhof und Tegel die Jahreslufttemperaturen im Mittel

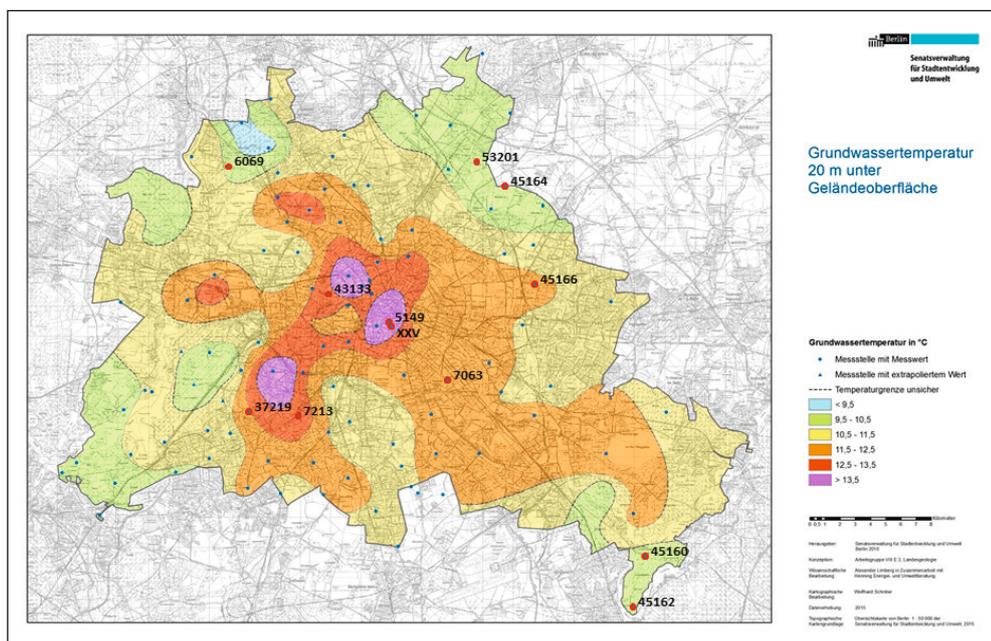


Abb. 6: Karte der Grundwassertemperatur 20 m unter Geländeoberfläche im Jahr 2015 mit ausgewählten Temperaturmessstellen

Fig. 6: Map of the groundwater temperature 20 m below ground level in 2015 with selected temperature observation points

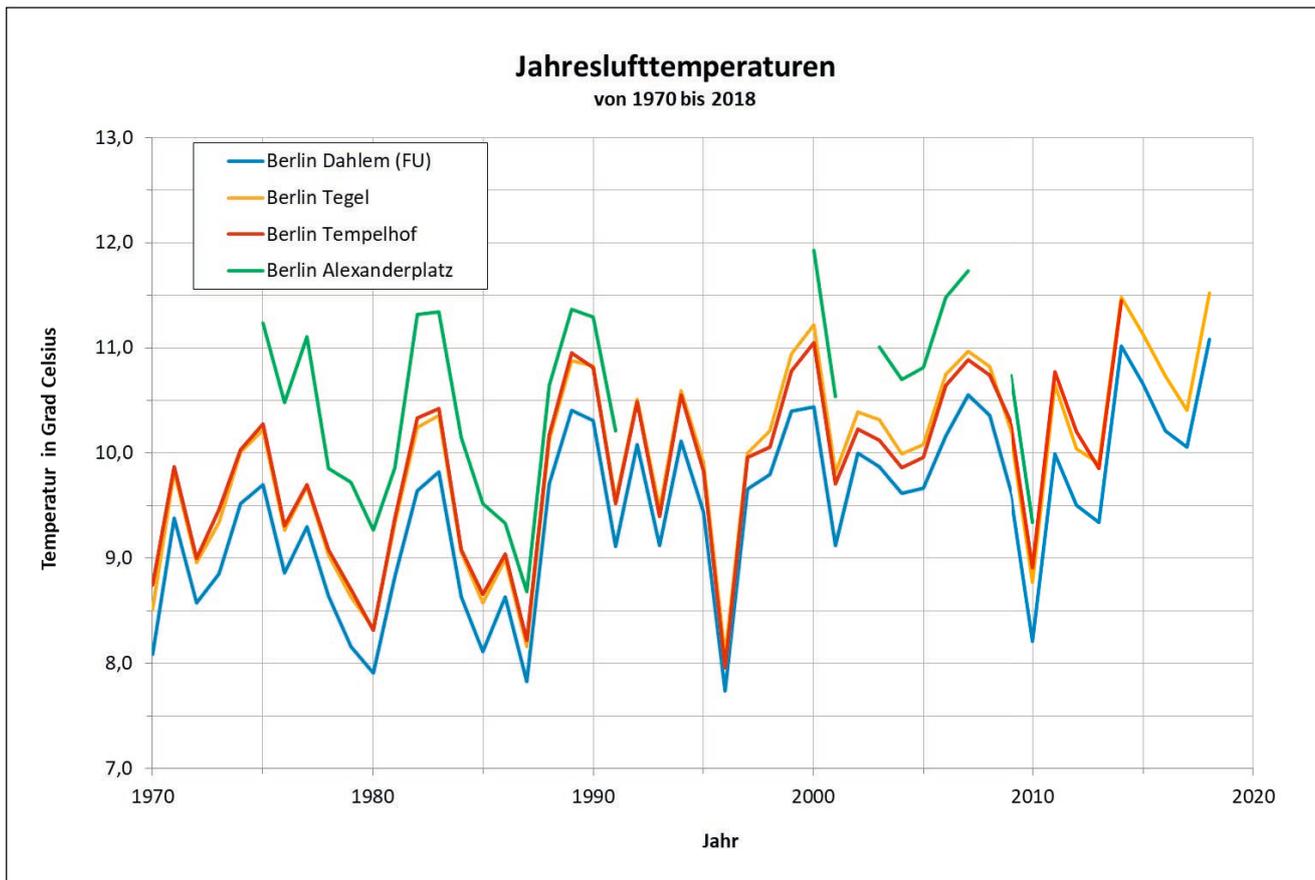


Abb. 7: Jahreslufttemperaturen in Grad Celsius in Dahlem (FU) und für drei weitere ausgewählte Messstationen im Land Berlin zwischen 1970 bis 2018

Fig. 7: Annual temperatures of the air in degrees Celsius in Dahlem (FU) and 3 other selected monitoring stations in Berlin from 1970 to 2018

um ca. +0,4 Grad Celsius und an der Messstation Berlin Alexanderplatz im Mittel um ca. +1,3 Grad Celsius höher. Um den langjährigen Trend der Lufttemperaturen zu verdeutlichen, wurde das 9jährige gleitende Mittel der Lufttemperaturen im Zeitraum zwischen 1850 und 2018 gebildet. In der Abbildung 8 ist für die Messstationen Dahlem (FU) und Tempelhof das 9jährige gleitende Mittel der Lufttemperaturen in Grad Celsius zwischen 1850 bzw. seit Beginn der jeweiligen Messaufzeichnung und 2010 dargestellt.

Der Verlauf der Lufttemperatur in Dahlem (FU) weist in dem Zeitraum zwischen 1850 bis ca. 1980 mehr oder weniger große Schwankungen auf. Ein eindeutiger Trend ist dabei nicht zu beobachten. Die mittlere Lufttemperatur in diesem Zeitraum liegt bei rd. 9 Grad Celsius. Erst nach ca. 1980 ist ein signifikanter deutlicher Temperaturanstieg zu beobachten. An der Messstation Tempelhof ist im Prinzip der gleiche Trend zu beobachten, jedoch verläuft dieser auf einem anderen Temperaturniveau.

Die Ursache für die gemessenen unterschiedlichen Lufttemperaturen an den unterschiedlichen Standorten der Messstationen ist auf die jeweiligen unterschiedlichen stadtklimatischen Verhältnisse und ab ca. 1985/1990 vermutlich auf den sich vollziehenden globalen Klimawandel zurückzuführen.

Die stadtklimatischen Verhältnisse werden sehr stark durch die thermischen Eigenschaften der Oberflächenbebauung und -nutzung geprägt und beeinflussen in der Folge die mittlere Bodenoberflächen- und Lufttemperatur.

Dabei ist zu beachten, dass an Wetterstationen die mittlere Lufttemperatur ( $T_L$ ) in der Regel in ca. 2 m Höhe über der Erdoberfläche ermittelt wird. Diese unterscheidet sich jedoch von der Temperatur an der Gebietsoberfläche. Unter ungestörten Verhältnissen gilt nach ZOTH & HÄNEL (1988) folgender Erfahrungswert:

$$T_L + 1 \text{ C} = (T_0 \pm 0,5) \text{ in Grad Celsius}$$

Die Temperatur an der Gebietsoberfläche liegt also schon unter ungestörten Verhältnissen um ca. 0,5 bis 1,5 Grad Celsius höher als die Lufttemperatur in ca. 2 m Höhe über der Erdoberfläche.

Hinzu kommen gerade in urbanen Gebieten viele weitere Einzelparameter an der Grenzfläche Luft / Erde, die das lokale thermische Mikroklima beeinflussen.

Die Farbe, Zusammensetzung, Oberflächenrauigkeit, Bedeckung, der Versiegelungsgrad, der Wasserhaushalt sowie die Ausrichtung zum solaren Strahlungseinfall urbaner Oberflächen entscheiden darüber, wie viel Energie aufge-

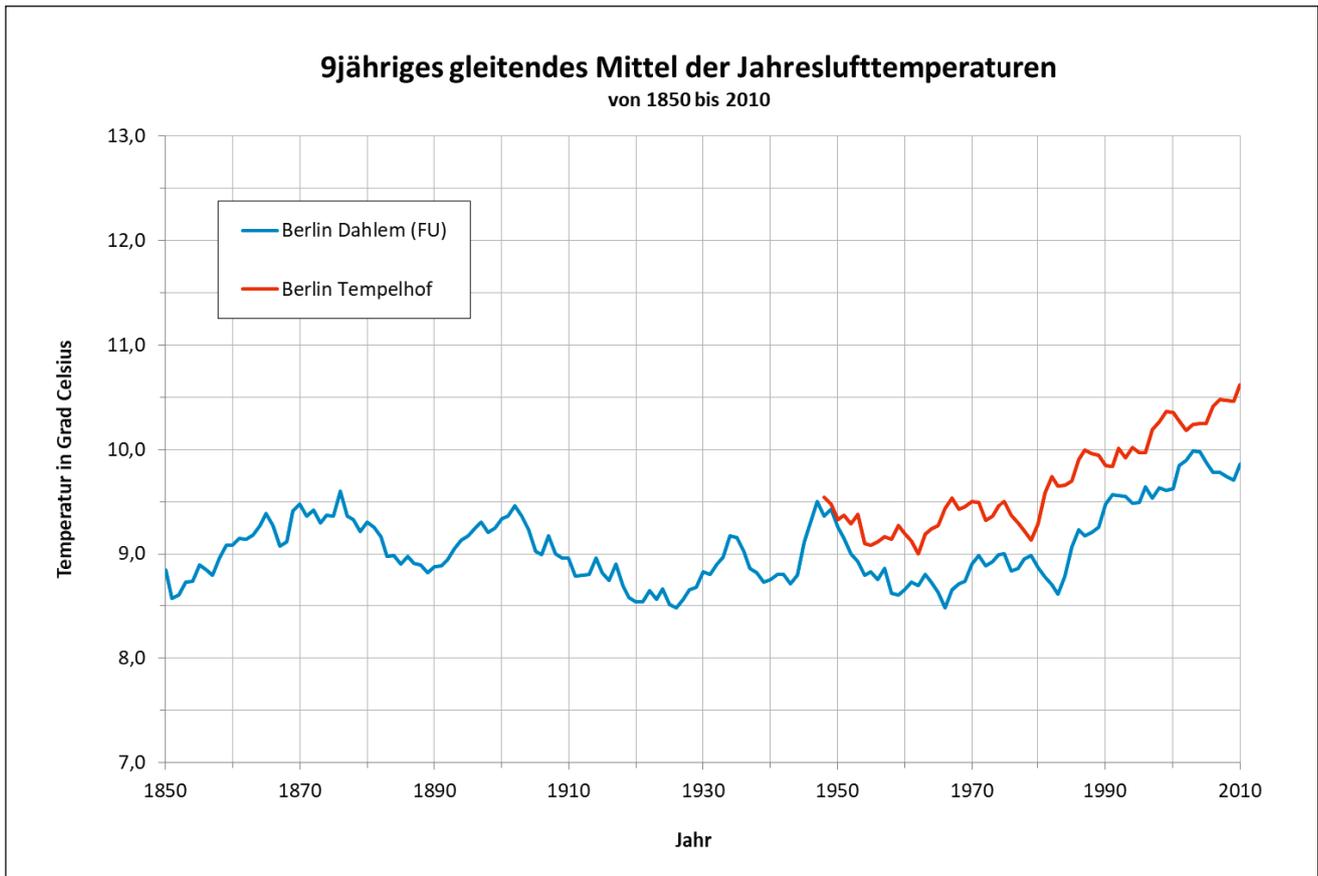


Abb. 8: 9jähriges gleitendes Mittel der Lufttemperaturen in Grad Celsius für Dahlem (FU) und Tempelhof zwischen 1850 bzw. seit Beginn der Messaufzeichnungen und 2010

Fig. 8: 9-year mean of the air temperatures in degrees Celsius at Dahlem (FU) and Tempelhof from 1850 respectively from the beginning of the recording until the year 2010

nommen und in der Bausubstanz gespeichert bzw. von dieser wieder abgegeben wird.

Zum Beispiel heizen sich tagsüber begrünte Areale weniger auf als Beton und Asphaltflächen, in denen tagsüber Energie gespeichert und nachts als Wärme abgegeben wird. Meteorologen messen Lufttemperaturunterschiede von bis zu 10 Grad Celsius auf verhältnismäßig geringen räumlichen Distanzen. Neben den thermischen Eigenschaften der städtischen Oberfläche prägen auch die hydrologischen Eigenschaften wie Abfluss, Infiltration, Verdunstung sowie Versickerung von Niederschlagswasser das lokale thermische Mikroklima.

Vor diesem Hintergrund wurde von STEWART & OKE (2012) für urbane Gebiete das sogenannte Local Climate Zones (LCZ) - Konzept entwickelt.

Das Local Climate Zones Konzept klassifiziert städtische und natürliche Umgebungen in Klassen, die sich durch ihre Oberflächenparameter unterscheiden, zum Beispiel Bebauungsdichte, Gebäudeverteilung und -typen, Himmelssichtfaktor, Höhe der Rauheitselemente und anthropogener Wärmefluss. Jede Local Climate Zone hat einen spezifischen Bereich dieser Parameter und das Konzept unterscheidet zwischen zehn „städtischen“ oder bebauten und sieben „natürlichen“ Local Climate Zones, die auch miteinander kombiniert werden können (s. a. STEWART & OKE, 2012).

Die Größe bzw. Fläche, die diese Local Climate Zones einnehmen kann relativ gering sein. So ist aus Lufttemperaturuntersuchungen im Stadtgebiet von Berlin bekannt (FENNER et al. 2017), dass Local Climate Zones mit einem relativ geringen Radius von 50 m um einen Messpunkt herum zu einem geringeren Fehler führen, als mit größeren Radien von 250 m wie sie von STEWART & OKE (2012) in ihrer Veröffentlichung vorschlagen. Die beispielhafte Anwendung dieses Klassifizierungssystems auf ausgewählte Bodentemperaturmessstellen im Land Berlin kommt zu der in Tab. 1 dargestellten Einteilung. Die Abbildung 9 zeigt die in 6 m Tiefe unter der Geländeoberfläche gemessenen Temperaturverläufe. Diese täglichen Messwerte wurden mit automatisch aufzeichnenden Datenloggern erhoben, deren Messgenauigkeit ebenfalls 0,1 Grad Celsius beträgt.

Die gemessenen Temperaturverläufe zeigen eine deutliche Abhängigkeit von ihrer jeweiligen Lage im städtischen Umfeld. Für einen Vergleich der Temperaturmessbefunde wurden folgende thermische Kennziffern bezogen auf die jeweilige Messtiefe unter Geländeoberkante gebildet:

- minimale Temperatur
- maximale Temperatur
- Mittelwert aller gemessenen Temperaturen
- Temperaturamplitude A.

Messstelle	Local Climate Zone	Beschreibung	Anthropogene Heizleistung <sup>1)</sup>
43133	LCZ 2	Dichter Mix aus mittelgroßen Gebäuden (3–9 Stockwerke), wenige oder keine Bäume, Landbedeckung größtenteils asphaltiert, Baustoffe aus Stein, Ziegel, Fliesen und Beton	< 75 W/m <sup>2</sup>
37294	LCZ 5	Offene Anordnung von mittelgroßen Gebäuden (3–9 Stockwerke), Überfluss an durchlässiger Landbedeckung (niedrige Pflanzen, einzelne Bäume), Baustoffe aus Beton, Stahl, Stein und Glas	< 25 W/m <sup>2</sup>
53201	LCZ 6 <sub>D</sub>	Offene Anordnung von flacheren Bauten (1–3 Stockwerke), Überfluss an durchlässiger Landbedeckung (niedrige Pflanzen, einzelne Bäume), Baumaterialien aus Holz, Ziegeln, Stein, Fliesen und Beton, in Kombination mit offener Graslandschaft, wenige oder keine Bäume, die Zonenfunktion ist natürliches Grasland, Landwirtschaft oder Stadtpark	< 25 W/m <sup>2</sup>
45166	LCZ 6 <sub>C</sub>	Offene Anordnung von flacheren Bauten (1–3 Stockwerke), Überfluss an durchlässiger Landbedeckung (niedrige Pflanzen, einzelne Bäume), Baumaterialien aus Holz, Ziegeln, Stein, Fliesen und Beton in Kombination mit einer offenen Anordnung von Büschen, Sträuchern und kurze, waldige Bäume, Landbedeckung meist durchlässig (nackter Boden oder Sand), Zonenfunktion ist natürliches Buschland oder Landwirtschaft	< 25 W/m <sup>2</sup>
45164	LCZ D	Offene Graslandschaft, wenige oder keine Bäume, die Zonenfunktion ist natürliches Grasland, Landwirtschaft oder Stadtpark	0
45160	LCZ A	Leicht bewaldete Landschaft mit Laub- und/oder immergrünen Bäumen, Landbedeckung meist durchlässig (niedrige Pflanzen), Zonenfunktion ist natürlicher Wald, Baumkultivierung oder Stadtpark	0
45162	LCZ B	Dicht bewaldete Landschaft mit Laub- und/oder immergrünen Bäumen, Landbedeckung meist durchlässig (niedrige Pflanzen), Zonenfunktion ist Naturwald, Baumpflege oder Stadtpark	0

<sup>1)</sup> Mittlere jährliche Wärmestromdichte (W/m<sup>2</sup>) aus Kraftstoffverbrennung und menschlicher Tätigkeit (Transport, Raumkühlung/-heizung, industrielle Verarbeitung, menschlicher Stoffwechsel). Variiert signifikant mit Breitengrad, Jahreszeit und Bevölkerungsdichte

Tab. 1: Berechnungsergebnisse im Überblick, Lage der Messstellen s. Abb. 6

Tab. 1: Results of calculation in summary, location of the observation wells see fig. 6

Ein Vergleich der thermischen Kennziffern zeigt die stadtklimatisch bedingten Unterschiede. Tendenziell ist ein Anstieg der maximalen Temperaturen und Temperaturmittelwerte mit zunehmender stadtklimatischer Veränderung entsprechend der jeweiligen Local Climate Zones zu beobachten (Tab. 2).

Der Anstieg der Temperaturmittelwerte in 6 m unter der Geländeoberfläche in Abhängigkeit vom Grad der Veränderung gegenüber Freilandverhältnissen bzw. der LCZ-Klasse ist auf eine veränderte Energiebilanz an der Gebietsoberfläche zurückzuführen. So sind zum Beispiel bei einer Oberflächenversiegelung durch Bebauung die hydrologischen Eigenschaften wie Abfluss, Infiltration, Verdunstung sowie die Versickerung von Niederschlagswasser verändert. Bei einem erhöhten Abfluss ist die Verdunstungsrate und in der Folge die Verdunstungskälte kleiner und es erhöht sich der Boden- und Luftwärmestrom. In solchen Gebieten kann vor allem während des Sommerhalbjahrs mehr Wärmeenergie in die darunterliegenden Bodenschichten eingetragen werden. Zusätzlich überwiegen in den stark bebauten und

damit hochverdichteten Bereichen mit keinen bis wenigen Grün- und/oder Wasserflächen auch die potenziellen Wärmequellen wie durch Sonne aufgeheizte Baukörper oder Asphaltflächen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich dicht bebaute Gebiete (LCZ 2, 5 und 6) schneller aufheizen als naturbelassene (LCZ A, B und D).

Die Bodentemperaturmessstellen aus dem Jahr 1872/1873 sind heute nicht mehr vorhanden. In räumlicher Nähe der ehemaligen Messstelle XXV liegt ca. 150 m vom ehemaligen Messstandort die Messstelle 5149, in der aktuell Temperaturmessdaten erfasst werden.

Ein Vergleich der Temperaturmessbefunde aus dem Jahr 1872/1873 aus der Messstelle XXV mit aktuellen Messdaten aus dem Jahr 2018/2019 der Messstelle 5149 zeigt deutliche Unterschiede im Temperaturverlauf (s. Abb. 10).

Die Abb. 10 zeigt die Messergebnisse in den unterschiedlichen Messtiefen. Aus diesen Messdaten bzw. berechneten Minimum- und Maximumtemperaturen wurde der Temperaturkelch bis zum neutralen Punkt in ca. 15 m Tiefe abgeschätzt.

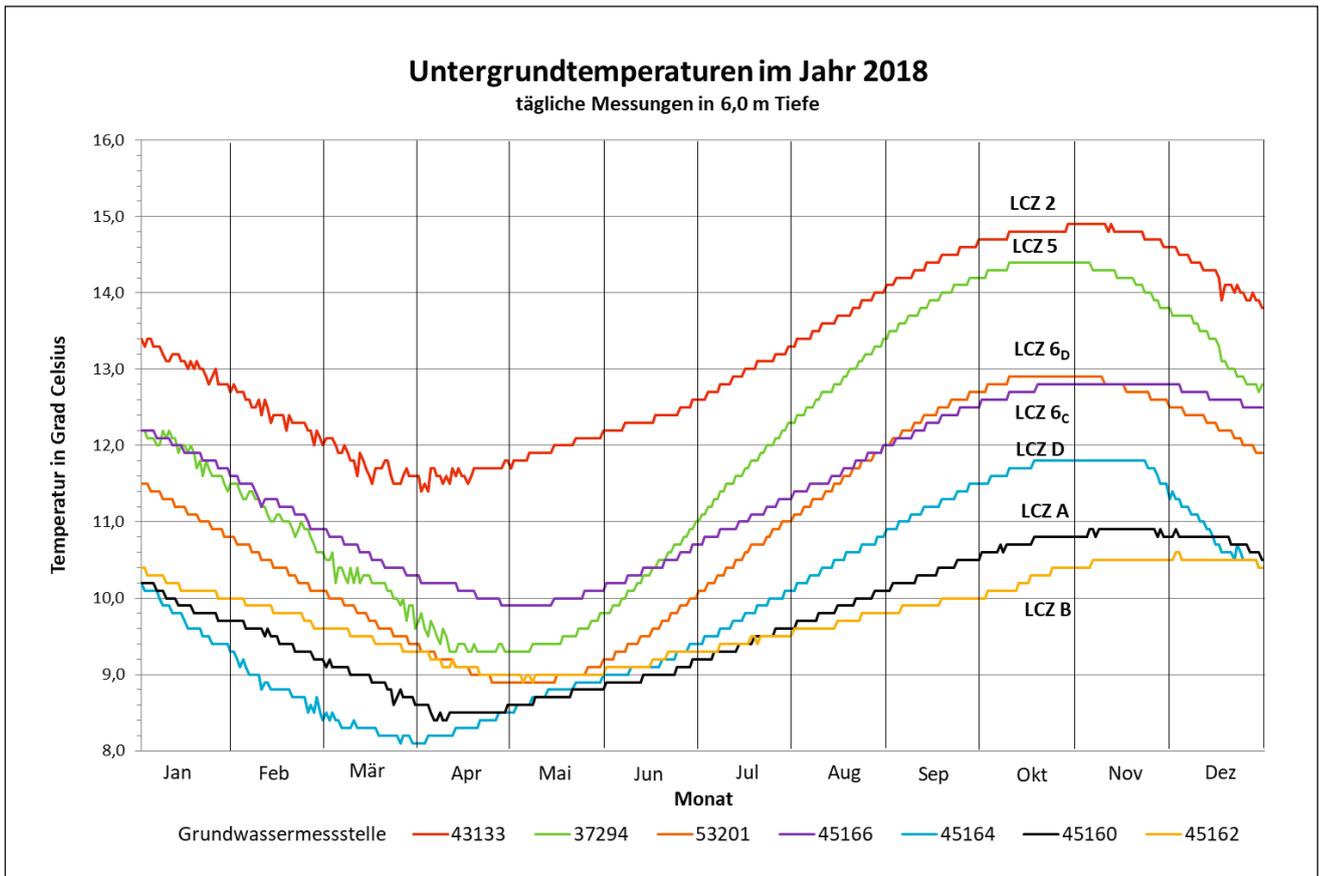


Abb. 9: Gemessener Temperaturjahresgang in 6 m unter der Geländeoberfläche für unterschiedliche Messstellen und Zuordnung zu einer Local Climate Zone (LCZ), Lage der Messstellen s. Abb. 6

Fig. 9: Measured temperature curve in 6 m below ground level for different observations wells and classification to a Local Climate Zone (LCZ), location of the observation points see fig. 6

Messstelle	LCZ	Bodenaufbau	mittlere Bodentemperatur	Amplitude	Dämpfung	mittl. Temp. -3,0 m u. Gelände	mittl. Temp. -6,0 m u. Gelände
43133	LCZ 2	Sand	13,0 C	19,0 K	2,6	12,68 C	13,17 C
37294	LCZ 5	Sand	12,0 C	19,0 K	3,0	12,14 C	11,89 C
53201	LCZ 6 <sub>b</sub>	Geschiebemergel	11,0 C	19,5 K	2,7	11,37 C	10,95 C
45166	LCZ 6 <sub>c</sub>	Geschiebemergel	11,5 C	19,5 K	2,3	11,35 C	11,45 C
45164	LCZ D	Geschiebemergel	10,0 C	19,0 K	2,5	10,45 C	9,90 C
45160	LCZA	Sand	9,7 C	12,5 K	2,5	9,64 C	9,71 C
45162	LCZ B	Sand	9,7 C	10,0 K	2,2	9,70 C	9,75 C

Tab. 2: Berechnungsergebnisse im Überblick, Lage der Messstellen s. Abb. 6

Tab. 2: Results of calculation in summary, location of the observation wells see fig. 6



Durch die Anwendung des Superpositionsprinzips auf die linearen Gleichungen ist es möglich, auch mehrere Änderungen bei den Temperaturverhältnissen wie zum Beispiel Temperatursprünge nachzuvollziehen. Unter anderem zeigten MENBERG et al. (2014) durch Vergleiche zwischen gemessenen Grundwassertemperaturen und Modellergebnissen, dass einfache analytische Lösungen zur Modellierung des Einflusses beobachteter und prognostizierter Klimaveränderungen anwendbar sind.

Für die Modellierungen können zum Beispiel zwei mögliche Randbedingungen für den Anstieg der Oberflächentemperatur angewendet werden. Die eine Randbedingung berücksichtigt einen Sprung der Oberflächentemperatur, d. h. einen Temperaturanstieg in einem kurzfristigen Zeitraum, wie dieser zum Beispiel durch eine Bebauung, Oberflächenversiegelung oder die Inbetriebnahme einer Wärmequelle verursacht wird (Abb. 11). Die andere Randbedingung legt einen linearen Temperaturanstieg zugrunde, der aktuell durch den Klimawandel verursacht wird (Abb. 12).

Wie in Abbildung 8 gezeigt, ist ab ca. 1985/1990 bei allen zugrunde gelegten Messstationen ein kontinuierlicher Anstieg der mittleren Lufttemperatur zu beobachten, der vermutlich auf den sich vollziehenden globalen Klimawandel zurückzuführen ist.

Im Hinblick auf die zukünftige langfristige Entwicklung ist von einem weiteren Temperaturanstieg auszugehen. Das zeigen die Prognosen aus Klimamodellberechnungen aus den Sachstandsberichten des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).

In den IPCC-Sachstandsberichten werden Befunde aus wissenschaftlichen Untersuchungen zu den vielfältigen Ursachen für die Emissionen von Treibhausgasen von mehr als 50 Wissenschaftlern aus 18 Ländern gesammelt und ausgewertet. Aus den Befunden wurden Szenarien und Prognosen für die zukünftige Entwicklung des Klimas abgeleitet.

In Hinblick auf die zukünftige Temperaturentwicklung lässt sich auf Grundlage dieser Szenarien feststellen, dass entsprechend den Klimamodellberechnungen die Temperatur bis zum Ende des Jahrhunderts um 2,5 bis 3,5 Grad Celsius bzw. sogar bis 4,5 Grad Celsius zunehmen kann.

Legt man für die Zukunft das Szenario A1B zugrunde, welches eine ausgewogene Nutzung aller Energiequellen bedeutet, kann zwischen dem Jahr 2030 bis 2100 die mittlere Lufttemperatur um ca. 0,043 Kelvin pro Jahr ansteigen. Dieser Wert wurde im Folgenden für die Prognoseberechnungen der zukünftigen Untergrundtemperaturen herangezogen.

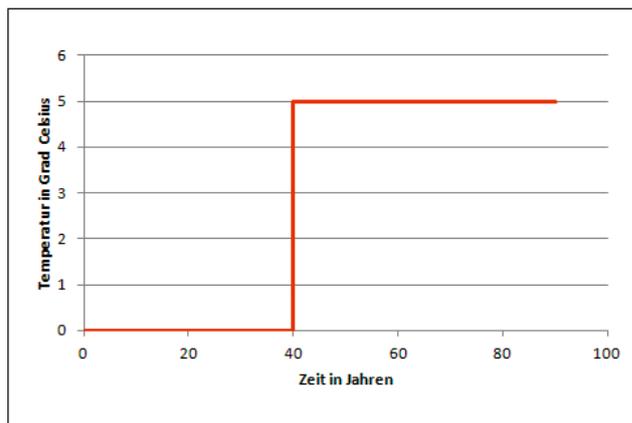


Abb. 11: *Temperatursprung, kurzfristiger Temperaturanstieg zum Beispiel durch eine Bebauung, Oberflächenversiegelung oder die Inbetriebnahme einer Wärmequelle*

Fig. 11: *Short-term increase of temperature, for example due to building, surface sealing or the initial operation of a heat source*

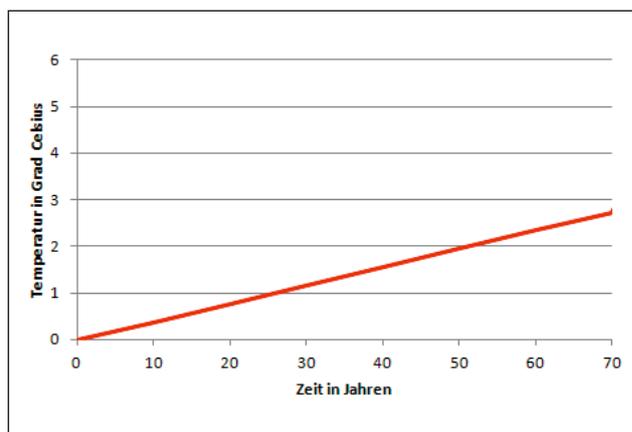


Abb. 12: *Linearer Temperaturanstieg, zum Beispiel der Temperaturanstieg in Städten durch zunehmende Urbanisierung oder den allgemeinen Klimawandel*

Fig. 12: *Linear temperature increase, for example in cities due to increasing urbanization or the general climate change*

Messstelle	Standort	Local Climate Zone	Messzeitpunkte
6069	Reinickendorf, Heiligenseestraße	LCZ 6 <sub>c</sub>	Oktober 1978, Oktober 1999 und Juli 2017
7063	Neukölln, Dieselstraße	LCZ 5	Mai 1984, August 2000 und Juli 2017
7213	Steglitz-Zehlendorf, Carmer Platz	LCZ 2	Mai 1990, August 2000 und Juli 2017

Tab. 3: *Beobachtete Messstellen, Lage der Messstellen s. Abb. 6*

Tab. 3: *Observed observation wells, location of the observation wells see fig. 6*

**6069 - Reinickendorf, Heiligenseestraße**

Die Messstelle 6069 liegt im Nordwesten von Berlin, in einem Übergangsbereich einer Einfamilienhausbebauung zu einem Waldgebiet. Das entspricht der Local Climate Zone 6<sub>C</sub> (Lage der Messstelle s. Abb. 6).

Die in den Jahren 1978, 1999 und 2017 gemessenen Temperaturverläufe zeigen tiefgreifende Veränderungen der Untergrundtemperaturen in diesem Zeitraum (Abb. 13). Gegenüber den angenommenen „ungestörten“ Verhältnissen in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts hat sich im Laufe der Zeit die Untergrundtemperatur bis in ca. 60 m Tiefe erwärmt. Ausgehend von einer mittleren Untergrundtemperatur in der „neutralen“ Zone in ca. 15 m Tiefe von

ca. 7,9 Grad Celsius wurde bei der letzten Messung eine Temperatur von ca. 9,6 Grad Celsius gemessen (Differenz ca. 1,7 Kelvin).

Vergleiche der gemessenen Temperaturverläufe mit den Ergebnissen aus analytischen Berechnungen zeigen, dass es zu mehreren Zeitpunkten Änderungen bei den Temperaturverhältnissen (in diesem Fall Temperatursprünge) gegeben haben muss.

Vor dem Hintergrund der Messgenauigkeit bei den an der Messstelle 6069 durchgeführten Temperaturmessungen und trotz der vereinfachenden Modellannahmen konnte eine gute Übereinstimmung der berechneten Modellkurven mit den tatsächlich zu unterschiedlichen Zeitpunkten gemessenen Temperaturprofilen erreicht werden.

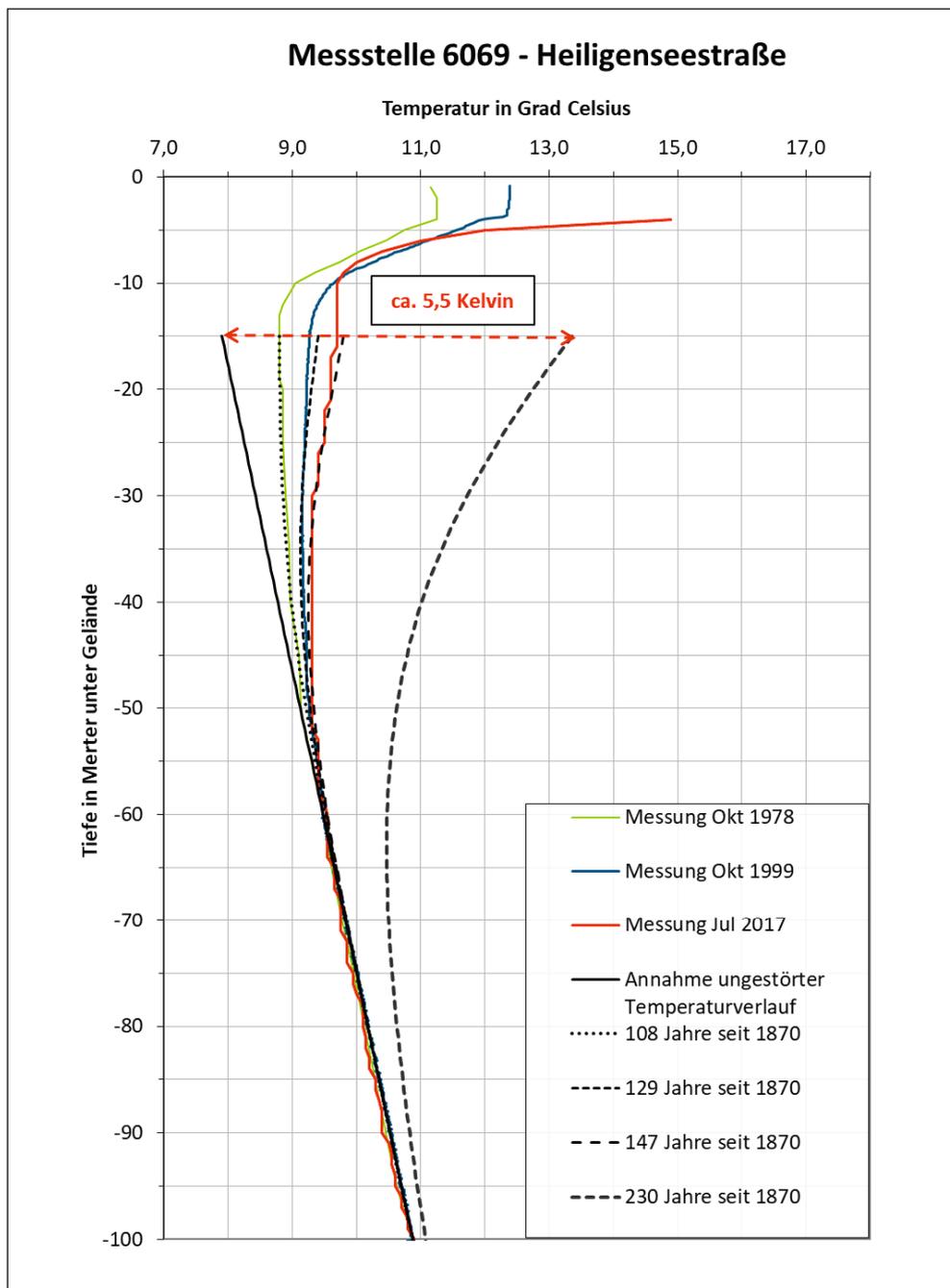


Abb. 13: Messbefunde und Ergebnisse der analytischen Berechnungen für die Messstelle 6069, Berlin Heiligensee, Heiligenseestraße

Fig. 13: Result of the analytical calculations at the observation well 6069 in Berlin Heiligensee, Heiligenseestraße

In Hinblick auf die zukünftige Temperaturentwicklung im Untergrund wurde ausgehend von der letzten Messung im Jahr 2017 ein linearer Temperaturanstieg an der Oberfläche von 0,04 Kelvin pro Jahr bis zum Jahr 2100 unterstellt und eine Prognoseberechnung durchgeführt.

Abb. 13 zeigt, dass für die Zukunft im Jahr 2100 von einem weiteren tiefgreifenden Temperaturanstieg im Untergrund ausgegangen werden kann, der bis in Tiefen von ca. 100 m unter der Geländeoberfläche reicht. Im Vergleich zu dem angenommenen anthropogen „unbeeinflussten“ Zustand im Jahr 1870 liegt die Temperatur in der neutralen Zone im Jahr 2100 um ca. 5,5 Grad Celsius höher.

### 7063 – Neukölln, Dieselstraße

Die Messstelle 7063 liegt in einem städtisch geprägten Gebiet mit einer Zeilenbebauung und Kleingartenkolonien im zentralen Bereich von Berlin. Das entspricht der Local Climate Zone 5 (Lage der Messstelle s. Abb. 6).

Auch hier zeigen die in den Jahren 1984, 2000 und 2017 gemessenen Temperaturverläufe tiefgreifende Veränderungen der Untergrundtemperaturen (Abb. 14). Gegenüber den angenommenen „ungestörten“ Verhältnissen im 19. Jahrhundert hat sich im Laufe dieses Zeitraums der Untergrund bis in ca. 90 Meter Tiefe erwärmt und erfasst größere Tiefen als bei der Messstelle 6069 (Abb. 13).

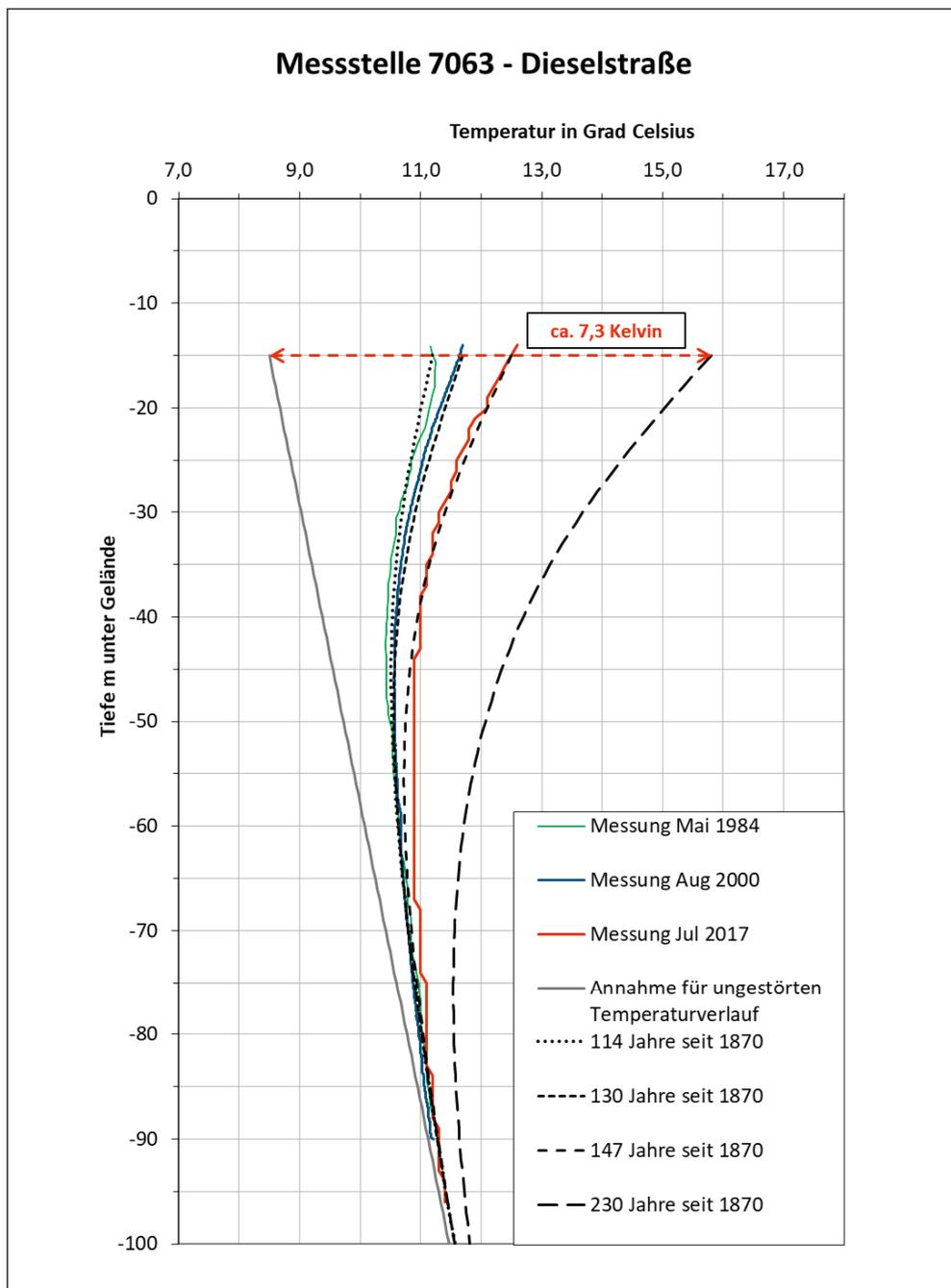


Abb. 14:  
Messbefunde und Ergebnisse der analytischen Berechnungen für die Messstelle 7063, Berlin Neukölln, Dieselstraße

Fig. 14:  
Result of the analytical calculations at the observation well 7063 in Berlin Neukölln, Dieselstraße

Ausgehend von einer mittleren Untergrundtemperatur in der „neutralen“ Zone in ca. 15 m Tiefe von ca. 8,5 Grad Celsius wurde bei der letzten Messung eine Temperatur von ca. 12,5 Grad Celsius gemessen (Differenz ca. 3 Kelvin).

Vergleiche der gemessenen Temperaturverläufe mit den Ergebnissen aus analytischen Berechnungen ergaben auch hier, dass es zu mehreren Zeitpunkten Änderungen bei den Temperaturverhältnissen (Temperatursprünge) gegeben haben muss. Diese sind vermutlich auf Veränderungen des Lokalklimas durch die in der Nähe errichtete Wohnbebauung zurückzuführen. Im Jahr 1953 war direkt am Messstellenstandort keine Bebauung vorhanden. Vermutlich wurde ein in der Nähe stehendes Gebäude im 2. Weltkrieg zerstört. Zwischen 1962 bis 1974 baute man östlich des Messstellenstandorts auf dem ehemaligen Gelände einer Kleingartenkolonie mehrstöckige Häuser und Parkplätze.

Auch bei dieser Messstelle wurde im Hinblick auf die zukünftige Temperaturentwicklung im Untergrund ausgehend von der letzten Messung im Jahr 2017 ein linearer Temperaturanstieg an der Oberfläche von 0,04 Kelvin pro Jahr bis zum Jahr 2100 unterstellt und eine Prognoseberechnung durchgeführt. Abbildung 14 zeigt, dass für die Zukunft im Jahr 2100 von einem weiteren tiefgreifenden Temperaturanstieg im Untergrund ausgegangen werden kann, der bis in Tiefen von mehr als 100 m unter der Geländeoberfläche reichen wird. Im Vergleich zu dem angenommenen anthropogen „unbeeinflussten“ Zustand im Jahr 1870 liegt die Temperatur in der neutralen Zone um ca. 7,3 Grad Celsius höher.

### 7213 – Steglitz-Zehlendorf, Carmer Platz

Die Messstelle 7213 liegt im innerstädtischen Bereich, der durch eine Block- und Zeilenbebauung und einen sehr hohen Versiegelungsgrad geprägt ist. Das entspricht der Local Climate Zone 2 (Lage der Messstelle s. Abb. 6).

Die in den Jahren 1990, 2000 und 2017 gemessenen Temperaturverläufe zeigen, wie bei den anderen Messstellen, auch hier tiefgreifende Veränderungen der Untergrundtemperaturen (Abb. 15). Gegenüber den angenommenen „ungestörten“ Verhältnissen in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts hat sich die Untergrundtemperatur bis in deutlich mehr als 100 m Tiefe erwärmt und weist somit schon zum jetzigen Zeitpunkt eine noch größere anthropogene Temperaturveränderung in der Tiefe auf als bei den anderen Messstellen 6069 und 7063. Ausgehend von einer mittleren Untergrundtemperatur in der „neutralen“ Zone in ca. 15 m Tiefe von ca. 8,5 Grad Celsius wurde bei der letzten Messung eine Temperatur von ca. 13,4 Grad Celsius gemessen. Die Temperaturdifferenz beträgt somit ca. 4,9 Kelvin.

Bei dieser Messstelle konnte im Rahmen der einfachen analytischen Berechnungen bisher keine befriedigende Übereinstimmung der berechneten mit den gemessenen Temperaturverläufen erreicht werden, insbesondere für die Temperaturkurve, die im Jahr 2017 gemessen worden ist.

Vermutlich lassen sich die Verläufe der Oberflächentemperatur nicht ohne weiteres mit Temperatursprüngen beschreiben. Die Messkurven zeigen, dass es auch bei dieser

Messstelle an der Oberfläche zu mehreren Zeitpunkten Änderungen bei den Temperaturverhältnissen gegeben hat. In den Messdaten der Messung aus dem Jahr 2017 deutet sich an, dass es hier möglicherweise auch eine geringe Abkühlung der Oberflächentemperatur gegeben hat.

Auch an dieser Messstelle wurde ausgehend von der letzten Messung im Jahr 2017 ein linearer Temperaturanstieg an der Oberfläche von 0,04 Kelvin pro Jahr bis zum Jahr 2100 unterstellt und eine Prognoseberechnung durchgeführt.

Abbildung 15 zeigt, dass für die Zukunft im Jahr 2100 von einem weiteren tiefgreifenden Temperaturanstieg im Untergrund ausgegangen werden kann, der bis in Tiefen von mehr als 100 Meter unter der Geländeoberfläche reichen kann. Im Vergleich zu dem angenommenen anthropogen „unbeeinflussten“ Zustand im Jahr 1870 liegt die Temperatur in der neutralen Zone um ca. 9 Grad Celsius höher und erreicht ca. 17,5 Grad Celsius.

### Ausblick

Insgesamt zeigen die Ergebnisse der Temperaturmessungen aus einem Zeitraum von rund 150 Jahren im Stadtgebiet von Berlin, dass sich der Untergrund und damit auch das Grundwasser in dieser Zeit deutlich erwärmt haben.

Auch langfristig ist vor dem Hintergrund des allgemeinen Klimawandels aber auch der zunehmenden Bebauungsdichte und dem Wegfallen von Grünflächen und damit auch veränderten hydrologischen Eigenschaften der Oberflächen von einer weitergehenden tiefgreifenden Erwärmung des oberflächennahen und des tieferen Untergrundes und somit des Grundwassers zu rechnen.

Mit der neutralen Zone als Bezugsebene für die mittlere Oberflächentemperatur in ca. 15 m Tiefe unter der Geländeoberfläche ist im Vergleich aktueller Temperaturmessungen mit den im Jahr 1873 ermittelten Messwerten ein Temperaturanstieg von bis zu 5 Kelvin belegbar. Damit kann eine deutliche Erwärmung des Untergrundes festgestellt werden.

Gleichzeitig erwärmt sich auch zunehmend der tiefere Untergrund, dies belegen die Temperaturlogs, die seit den 1970er Jahren im Land Berlin zu unterschiedlichen Zeitpunkten in ausgewählten Messstellen aufgenommen worden sind. Die anthropogen bedingten Veränderungen erreichen Tiefen von mehr als 150 m unter der Geländeoberkante.

Die in unterschiedlichen Teilen des Stadtgebiets aufgenommenen Temperaturdaten belegen auch einen eindeutigen Zusammenhang zwischen den unterschiedlichen stadtstrukturellen Lagen und den daraus resultierenden stadtklimatischen Verhältnissen (Local Climate Zones).

Für die Zukunft ist von einem weiteren Anstieg der Untergrundtemperaturen auszugehen. Die Prognosen zeigen, dass ein Temperaturanstieg in der neutralen Zone im Vergleich zu dem anthropogen unbeeinflussten Zustand im Jahr 1870 von bis zu 8 Kelvin möglich ist. Dies ist jedoch sehr stark davon abhängig, wie sich insbesondere die mittleren Oberflächentemperaturen bedingt durch den zukünftigen Klimawandel entwickeln werden.

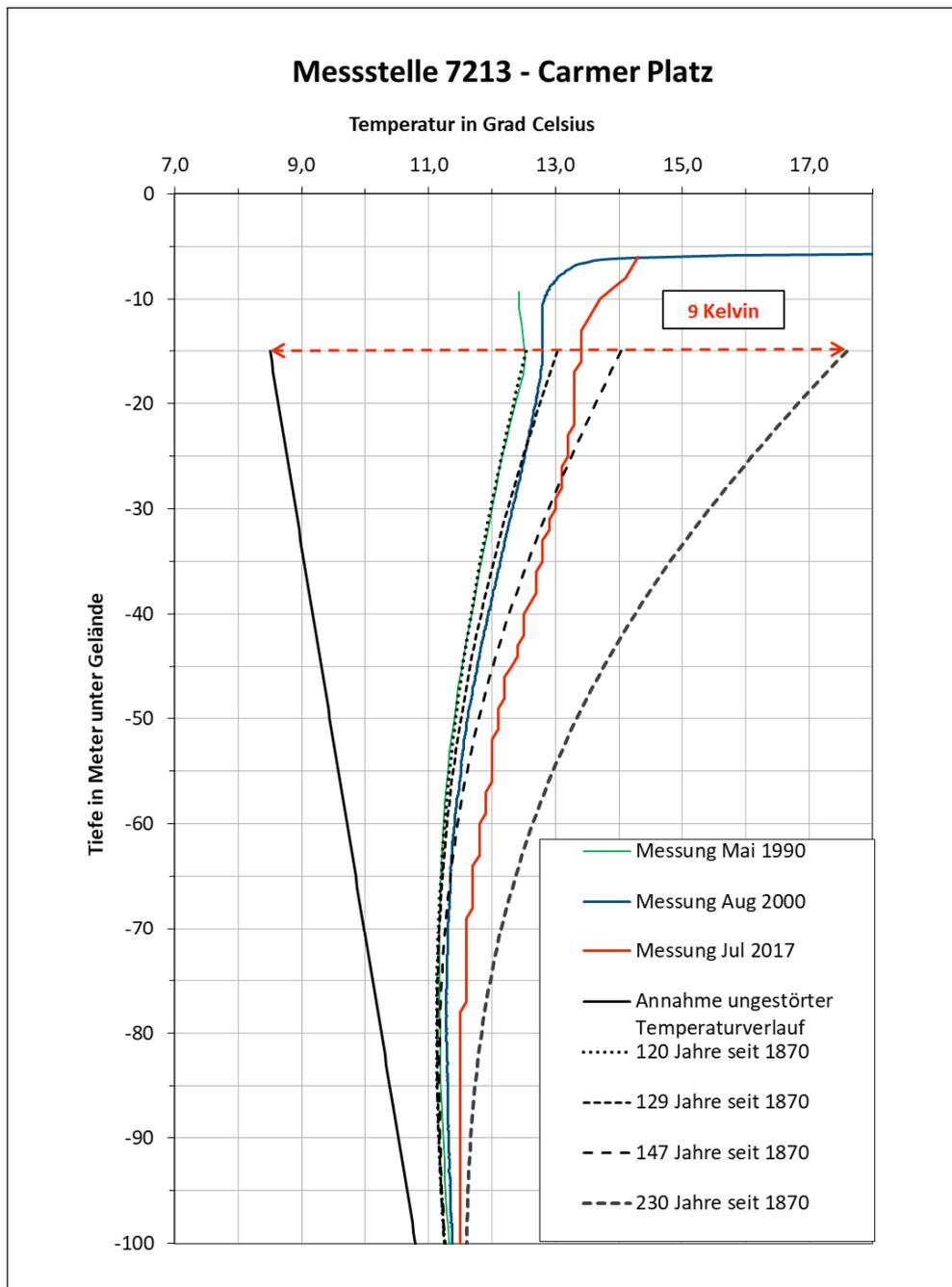


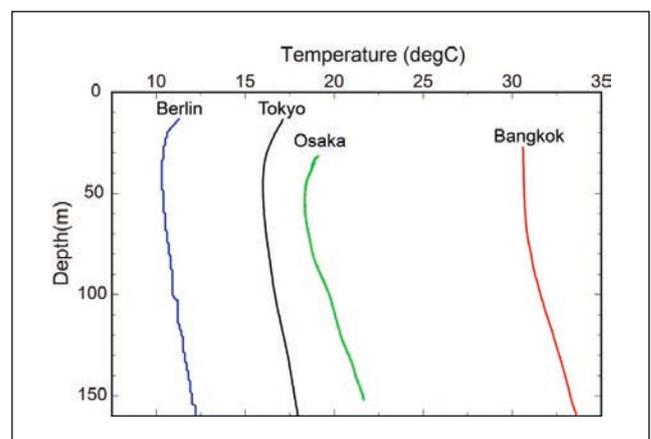
Abb. 15: Messbefunde und Ergebnisse der analytischen Berechnungen für die Messstelle 7213, Berlin Steglitz-Zehlendorf, Carmer Platz

Fig. 15: Result of the analytical calculations at the observation well 7213 in Berlin Steglitz, Carmer Platz

Vergleicht man die Temperaturmessungen aus Berlin mit Messergebnissen aus Ballungsräumen in Asien, die in gleicher Weise beeinflusst sind (Abb. 15), sind für Berlin Temperaturverhältnisse im Untergrund zu erwarten, wie diese heute schon zum Beispiel im Großraum Tokyo gemessen werden.

Abb. 16: Urbane Erwärmung des Untergrundes in vier Städten Asiens und Europas (HAMAMOTO et al. 2017)

Fig. 16: Urban warming of the subsurface in four cities in Asia and Europe (HAMAMOTO et al. 2017)



## Zusammenfassung

Vor 150 Jahren, im Jahr 1896, wurde mit ersten flächenhaften Messungen der Grundwassertemperatur in Berlin begonnen. Im Jahr 1872/1873 führte man bis in eine maximale Tiefe von 3 m unter der Geländeoberfläche die ersten Bodentemperaturmessungen an unterschiedlichen Orten im damaligen Stadtzentrum durch. Je nach Messstandort konnten schon damals Temperaturdifferenzen von bis zu 5 Kelvin in derselben Tiefe beobachtet werden, die unter anderem auf unterschiedliche Wärmeflüsse zwischen der Atmosphäre und dem Untergrund in Abhängigkeit von Bodenaufbau, Siedlungsstruktur und den daraus resultierenden mikroklimatischen Verhältnissen zurückgeführt werden können.

Ein Vergleich mit aktuellen Messdaten aus dem Jahr 2018/2019 an den gleichen Messstandorten und einer Abschätzung der durchschnittlichen Temperatur in der neutralen Zone zeigt, dass in den letzten rd. 150 Jahren bis heute die durchschnittlichen Temperaturen in der neutralen Zone zwischen ca. 2,3 Grad Celsius und ca. 4,5 Grad Celsius angestiegen sind.

Die Ursache dafür ist in der ständig zunehmenden baulichen Entwicklung und damit verbundenen regionalen klimatischen Veränderung im Land Berlin zu sehen.

Zunehmend wirken sich auch die langfristigen globalen Klimaveränderungen auf die Untergrundtemperaturen in Richtung einer weiteren tiefgreifenden Erwärmung aus. Dies belegen auch Temperaturmessungen, die seit den 1970er Jahren in tiefen Grundwassermessstellen im Land Berlin durchgeführt worden sind.

Auf Grundlage von einfachen analytischen Modellen ist die Entwicklung der Untergrundtemperaturen an unterschiedlichen Orten im Land Berlin rekonstruiert worden.

Mit zusätzlichen Annahmen zur Klimaentwicklung bis zum Jahr 2100 wurde zusätzlich eine Prognose für die zukünftige Temperaturentwicklung des Untergrundes vorgenommen.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich der oberflächennahe Untergrund (bis 100 m Tiefe) und somit auch das Grundwasser weiter signifikant erwärmen werden.

Bezogen auf die Untergrundtemperatur in der neutralen Zone in ca. 15 m unter der Geländeoberfläche ist für den dicht besiedelten Innenstadtbereich davon auszugehen, dass im Jahr 2100 der Temperaturanstieg im Vergleich zu dem anthropogen unbeeinflussten Zustand im Jahr 1870 bis zu 9 Kelvin betragen kann. Die Temperatur im Boden bzw. Grundwasser in der neutralen Zone kann sich unter den angenommenen Randbedingungen von derzeit ca. 13 Grad Celsius auf bis zu ca. 17 bis 18 Grad Celsius erhöhen.

## Summary

150 years ago, in the year 1869, in Berlin extensive measurements of the groundwater temperature were started. In 1872/1873, the first soil temperature measurements were

conducted up to a maximum depth of 3 m below ground level at different locations in the city center of Berlin. Depending on the measuring location, temperature differences of up to 5 Kelvin could be observed at the same depth, which can be attributed, among other things, to different heat fluxes between the atmosphere and the subsurface depending on the soil structure, the settlement structure and the resulting microclimatic conditions.

A comparison with current measurement data from the year 2018/2019 at the same measuring locations and an estimation of the average temperature in the neutral zone shows that the average temperatures in the neutral zone in the last approx. 150 years have risen between about 2.3 degrees Celsius and about 4.5 degrees Celsius.

The reason for this can be found in the constantly increasing structural development and the associated regional climate change in the state of Berlin.

Increasingly, long-term global climate changes are also showing an effect on underground temperatures towards a further profound warming. This is also confirmed by temperature measurements that have been carried out since the 1970s in deep groundwater observation wells in the state of Berlin.

Based on simple analytical models, the development of background temperatures at different locations in the state of Berlin has been reconstructed.

With additional assumptions about the climatic changes up to the year 2100, a prognosis for the future temperature development of the subsurface was made.

The results show that the shallow subsurface (up to 100 m depth) and therefore also the temperature of the groundwater will continue to warm up significantly.

Related to the subsurface temperature in the neutral zone about 15 m below ground level, it can be assumed for the densely populated inner city area that in the year 2100 the temperature increase can reach up to 9 Kelvin in comparison with the anthropogenic unaffected state of 1870. The temperature of the soil or the groundwater in the neutral zone will increase from the current approx. 13 degrees Celsius to approx. 17 up to 18 degrees Celsius under the assumed boundary conditions.

## Literatur

BAUR- & BERKELEY-REIHE: Seite „Zeitreihe der Lufttemperatur in Deutschland“. – In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 1. August 2019, 18:33 UTC. URL: [https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Zeitreihe\\_der\\_Lufttemperatur\\_in\\_Deutschland&oldid=190956588](https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Zeitreihe_der_Lufttemperatur_in_Deutschland&oldid=190956588) (Abgerufen: 21. August 2019, 05:57 UTC)

CARSLAW, H. S. & J. C. JAGER (1959): *Conduction of Heat in Solids*. – S. 63, 2nd Edition, Oxford (Clarendon Press)

CUBASCH, U. & C. KADOW. (2011): The change of the global climate and regional climate aspects of Berlin and Brandenburg. – *Die Erde* 142 (1/2)

- FENNER, D., MEIER, F., BECHTEL, B., OTTO, M. SCHERER, D. (2017): Intra and inter 'local climate zone' variability of air temperature as observed by crowd sourced citizen weather stations in Berlin, Germany. – *Meteorologische Zeitschrift*, PrePub DOI 10.1127/metz/2017/0861, 2018
- GRUNDWASSERTEMPERATUR 2015 (AUSGABE 2916), UMWELTATLAS: [www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/kc214.htm](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/kc214.htm) (aufgerufen am 20.8.2019)
- HAMAMOTO, H., BLUM, P., BENZ, S., LIMBERG, A., TANIGUCHI, M., MIYAKOSHI, A., ARIMOTO, H., GOTO, S., M. YAMANO (2017): Reconstruction of the Thermal Environment Evolution from Subsurface Temperature Distribution in and around in four cities of Asia and Europe. – Abstract of JpGU-AGU Joint Meeting 2017, MZZ40-P02, Tokyo
- HENNING, A & A. LIMBERG (1995): Das Grundwasser-Temperaturfeld von Berlin. – *Brandenbg. geowiss. Beitr.* **2**, 1, S. 97–104
- HENNING, A & A. LIMBERG (2012): Veränderung des oberflächennahen Temperaturfeldes von Berlin durch Klimawandel und Urbanisierung. – *Brandenbg. geowiss. Beitr.* **19**, 1, S. 81–92
- HOBRECHT, J. (1874): Bericht über die Grundwasserverhältnisse in Berlin, die Wasserstände der Spree, den Regenfall in Berlin und die Boden-Temperatur-Messungen [Fe. 1874]. – In: *Reinigung und Entwässerung Berlins. Einleitende Verhandlungen und Berichte...*, Heft 12B, S. 682–707, Berlin (Hirschwald)
- MENBERG, K., BLUM, P., KURYLYK, B. L., BAYER, P. (2014): Observed groundwater temperature response to recent climate change – *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **18**, 4453–4466, <https://doi.org/10.5194/hess-18-4453-2014>
- OTTO, R. (1987): Hydrochemie, Thermometrie und Fließverhältnisse des Grundwassers in den südöstlichen Stadtbezirken von Berlin (West) – Neukölln, Tempelhof, Schöneberg. – *Berliner geowiss. Abh.* **44**, 79 S., Berlin
- STEWART, D. & T OKE (2012): Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. – *Bulletin of the American Meteorological Society* **93**, 12, 1879–1900
- TRAPP, C. (1983): Beschaffenheit und hydrogeologische Zusammenhänge des tieferen Grundwassers im nördlichen Stadtgebiet von Berlin (West). – *Berliner geowiss. Abh.*, **88**, 115 S.
- VIRCHOW, R. (1873): *Reinigung und Entwässerung Berlins.* – Generalbericht über die Arbeiten der städtischen gemischten Deputation für die Untersuchung der auf die Kanalisation und Abfuhr bezüglichen Fragen. – 182 S., Berlin (Hirschwald)
- ZOTH, T. A. & R. HÄNEL (1988): Appendix. – In: R. HÄNEL, RYBACH, L. STEGENA, L. (ed.): *Handbook of Terrestrial Heat Flow Determinations.* – Kluwer, S. 449–446, Hannover

#### **Anschrift der Autoren**

Andreas Henning  
Energie & Umweltberatung  
Rothenbücherweg 53 a  
14089 Berlin

Alexander Limberg  
Heidenheimer Straße 4  
13467 Berlin

## Buchbesprechung

RUDOLPH, F., BILZ, W. & D. PITTERMANN (2019): **Fossilien an deutschen Küsten – Finden und Bestimmen**

2. Auflage, 357 Seiten

Quelle & Meyer Verlag, Wiebelsheim

ISBN 978-3-494-01590-3

Preis: 24,95 €

Unter dem Titel „Fossilien an Nord- und Ostsee“ seiner Voraufgabe ist das Buch Fossilienliebhabern bereits bekannt. Die zu besprechende 2. Auflage im Format 12 x 19 cm zeichnet sich hauptsächlich durch die Wiedergabe natürlicher Farben seiner Fossilfotos aus. Wie in seinem Vorwort dargelegt, sind in diesem Buch die häufigsten, aber auch bemerkenswerte Fossilien zu finden, die in Geschieben durch die eiszeitlichen Gletscher aus dem Raum Skandinaviens und des Baltikums im Pleistozän nach Deutschland transportiert wurden und vor allem an den deutschen Küsten aber auch in Kiesgruben und auf Feldern gefunden werden können.

Das Buch folgt der Konzeption, Fotos von Fossilien, die auf ganzseitigen Tafeln präsentiert und jeweils auf der gegenüberliegenden Seite knapp erläutert werden, erdgeschichtlich abzuhandeln (S. 10–111 aus dem Paläozoikum, S. 112–205 aus dem Mesozoikum, S. 206–321 aus dem Känozoikum). Die abgebildeten Fossilien sind zum einen in öffentlichen Geschiebesammlungen der Universitäten Hamburg und Greifswald, des Staatlichen Geologischen Dienstes Mecklenburg-Vorpommern sowie in einigen Museen archiviert und stammen zum anderen insbesondere aus zahlreichen privaten Sammlungen (S. 357). Leider sind keine Fotos von Fossilien aus dem Naturkundemuseum Berlin, der bedeutendsten historischen Sammlung Deutschlands mit zahlreichen Holotypen aus Geschieben, enthalten. So wird nur ein Abguss von der berühmten, als Bindeglied zwischen Ringelwürmern und Gliedertieren diskutierten Stammform der Stummelfüßer, *Xenusion auerswaldae*, präsentiert (S. 16, 17, Abb. 8). Auch deshalb fehlen Fotos vollständiger großer Formen von Trilobiten aus Geschieben hauptsächlich des mittleren Kambrium oder sind wie *Nileus platys* aus dem Oberordovizium (S. 64) nicht abgebildet. Ebenso sind nur Fotos kleiner Korallenstöcke bzw. Bruchstücke aus dem Gotländer Korallenkalk enthalten (S. 97), statt der kopfgroßen, wie

sie beispielsweise auf den Feldern im Gebiet des Braunkohle-Tagebaues Peres südlich Leipzig sehr häufig gefunden wurden. Die Erläuterungen der Fossilfotos beschränken sich meistens auf eine minimale, jedoch verständliche Beschreibung des jeweiligen fossilführenden Geschiebes, seiner stratigraphischen Zuordnung und nach Möglichkeit auf die Angabe seiner ursprünglichen Herkunft. Hervorzuheben ist das Bemühen, den aktuellen Kenntnisstand zur Taxonomie der aufgeführten Fossilien anzugeben.

Einen Überblick zur stratigraphischen Einordnung der fossilführenden Geschiebe geben die stratigraphischen Tabellen am Ende des Buches (S. 322–329). Löblich sind die Einfügungen der Regionalgliederungen Skandinaviens und des Baltikums im Paläozoikum sowie der Nordsee im Känozoikum, die ihre Korrelation zur internationalen Chronostratigraphie auf einem weitestgehend aktuellen Stand vermitteln. Die Einbindung der Trilobiten-Stufen in der Tabelle des Kambrium und der Trilobiten-Zonen in den Tabellen zum Ordovizium und Silur lässt zumindest die Bedeutung von biostratigraphischen Gliederungen und ihren paläogeographischen Bezug, in diesem Fall zu Baltoskandinavien, erahnen. Warum ist jedoch die Tabelle zum Mesozoikum (S. 328) identisch, aber aufgeteilt im Text zuvor wiederzufinden (S. 112, 118, 146)?



Unumgänglich bleibt es, auf das Manko des Buchkonzeptes einzugehen. Auf einleitende Kapitel wie in MARESC, W., SCHERTL, H.-P. & O. MEDENBACH (2016): Gesteine – Systematik, Bestimmung, Entstehung [Buchbesprechung im Band 25 der Brandenburgischen Geowissenschaftlichen Beiträge 2018] wurde leider verzichtet. Gerade einem naturwissenschaftlich interessierten Laien hätte in einer Einführung die systematische Zuordnung von ausgestorbenen und nur als Fossilien bekannten Gruppen von Lebewesen, deren Diversität und bedeutendstes Auftreten in der Erdgeschichte fo-

kussiert näher bringen können. Farbliche Illustrationen dazu sowie zur Phylogenie zumindest der besprochenen Gruppen von Lebewesen könnten das veranschaulichen und eine Einführung knapp halten. Wiederholungen bei den Fotoerläuterungen wären damit vermeidbar gewesen. So wird statt dessen auf einige ausgewählte stratigraphische Abschnitte und phylogenetische Gruppen an verschiedenster Stelle und in unterschiedlicher Art und Weise kurz eingegangen. Eine Erklärung über die Notwendigkeit von regionalstratigraphischen und biostratigraphischen Gliederungen neben der chronostratigraphischen und deren Beziehung zur Paläogeographie hätte in einem einleitenden Kapitel ebenso erfolgen können. Weiterführende Literatur-

---

hinweise wie zu aktuellen, gut illustrierten Lehrbüchern zur Stratigraphie und Phylogenie fehlen dazu.

Das chronostratigraphisch bereits 1990 definierte, jedoch im Buch nicht erwähnte Ediacarium als jüngstes System des Oberproterozoikum wäre auf einer gesonderten Doppelseite zusammen mit dem unteren Unterkambrium (vor der explosionsartigen evolutionären Radiation der Tiere) darstellbar gewesen. Mit einigen horizontalen und ab dem Kambrium hinzukommenden vertikalen Spurenfossilien hätte der Abdruck von *Xenusion auerswaldae* darin seinen Platz finden können. Seine immer noch diskutierte taxonomische und stratigraphische Zuordnung ins Ediacarium oder Unterkambrium sollte dem Leser auch deutlich vermittelt werden. Insbesondere die heute unterschiedlich gehandhabten Begriffe „Eokambrium“ (S. 16) und Vendium (S. 323) statt Ediacarium tragen zur Verwirrung des Lesers bei. Die wenigen im Buch enthaltenen, taxonomisch diskutierten Small Shelly-Fossilien des oberen Unterkambrium hätten auf einer gesonderten Doppelseite folgen können.

Bei der genaueren Durchsicht sind leider auch Fehler zu beanstanden, die den Leser vor weitere Fragen stellen. Warum ist beispielsweise der sehr häufige Brachiopode *Microsphaeridiorhynchus nuculus* aus dem Beyrichienkalk des Silur (S. 101, 102, Abb. 2) abermals bei den Fossilien der Oberkreide zu finden (S. 204, 205, Abb. 8)? Wieso ist das Flensburger Gestein aus dem Obermiozän (S. 318) wiederholt als Überschrift bei den Säugetierfunden aus dem Pleistozän angegeben (S. 320)? Auch sind die erwähnten Geschiebe- und Fossilnamen im Register (S. 344–356) nicht vollständig vertreten.

Dessen ungeachtet kann das Buch eine Bereicherung für jeden sein, der sich an der Vielfalt und Schönheit von Fossilformen begeistern kann. Strandspaziergänger kann dieses Buch inspirieren, aufmerksamer nach unten zu schauen und bei Pausen oder bei der gezielten Suche auf die kleinen Steinchen am Strand zu achten, unter denen mancherorts sehr häufig aus dem Gestein herausgewitterte Fossilien zu finden sind.

Michael Göthel

## Kurzmitteilung

### Neues gemeinsames Kartenblatt der GK 50 in Zusammenarbeit mit dem Polnischen Geologischen Dienst fertiggestellt

Innerhalb des Projektes zur länderübergreifenden Kartierung des Grenzgebiets im Maßstab 1:50.000 erscheint Ende 2019 das Doppelblatt L 3350/L3352 Bad Freienwalde/Letschin-Mieszkowice als die vierte Gemeinschaftsausgabe zwischen den Staatlichen Geologischen Diensten Polens (PIG-PIB) und Brandenburgs (LBGR).

Durch die langjährige freundschaftliche und fachlich inspirierende Zusammenarbeit mit den Geologen Dr. Andrzej Piotrowski und Paweł Sydor vom Büro des Geologischen Dienstes in Szczecin gelang es, die umfangreichen Ergebnisse der geologischen Erkundungen beiderseits der Oder zu bewerten und abzugleichen. Im Ergebnis dieser Bemühungen liegt nun u.a. für dieses Doppelblatt erstmals ein gemeinsamer geologischer West-Ost-Schnitt vor, der die oberflächennahe Geologie beider Länder bis zu einer Tiefe von ca. 150 m über den Grenzfluss hinweg miteinander verbindet aber auch die lokalen Besonderheiten in der Stratigrafie beiderseits der Oder abbildet.

Für die Arbeiten im Kartierungsgebiet Brandenburgs galt es zusätzliche Hürden zu überwinden, die bei der Bearbeitung der vorangegangenen Grenzblätter in dieser Form und dem Umfang nicht vorhanden waren, was dadurch zu wiederholten Verzögerungen der Arbeitsabläufe führte. Diese ergaben sich einerseits aus der äußerst komplizierten geologischen und geomorphologischen Situation im Gebiet der

westlichen Doppelblatt-hälfte, den bestehenden vielfältigen Besitzverhältnissen und der Kampfmittelbelastung des gesamten Raumes, andererseits aus neuen arbeits- und sicherheitstechnischen Vorschriften bei den Geländearbeiten. Darüber hinaus wurde das Doppelblatt erstmals digital unter Zuhilfenahme zahlreicher Zusatzdaten (u. a. DGM 2) bis zur Druckvorbereitung erarbeitet. Grundlage der Revisionskartierung für die Fläche war vor allem die GK 25 von 1908 aus

der Zeit der Preußischen Kartierung. Die für die meisten Kartenblätter Brandenburgs gewohnte hohe Genauigkeit der GK 25 war jedoch auf dem Blattgebiet Bad Freienwalde (3250) überraschender Weise nicht vorhanden. So konnten z.B. im Kartierungsgebiet verzeichnete geologische Einheiten, auch im weiteren Umfeld, bis in einen Teufenbereich von 5 m nicht bestätigt werden. Das Fehlen der Original-Bohrpunktarten erschwerte zusätzlich die Suche einiger Flächen. Die Gründe dafür sind sicher der besonderen Komplexität des Hochflächenbereichs, der hier vorhandenen tiefreichenden Stauchungen und der heutigen starken Zertalung geschuldet, die mit einer durchschnittlichen Bohrungsdichte und der dafür vorhandenen Zeit nicht erfasst werden konnten. Dadurch ergab sich für die Bearbeitung des vorliegenden Doppelblatts ein angemessen höheres Arbeitspensum.

Die Kartierung des Doppelblatts erfolgte unter Einbeziehung sämtlicher am LBGR vorhandener Altbohrungen und Berichte zur Rohstoff- und Grundwassererkundung und der vorhandenen Veröffentlichungen zu geologisch relevanten Themen in diesem Raum. Zusätzlich wurden zahlreiche neue Daten erhoben. Neben 5 Kartierungsbohrungen im Trocken- und Lufthebebohrverfahren im Teufenbereich 50 bis 80 m, wurden 240 Rammkernsondierungen von 5 m durch Fremdfirmen ausgeführt. Weitere 35 Bohrungen, auf spezielle Fragestellungen und Probengewinn ausgerichtete Rammkernsondierungen, wurden von den Mitarbeitern des Geologischen Dienstes selbst abgeteuft, einige davon bis 10 m. Ergänzt wurden diese durch ca. 50 Handbohrungen bis 4 m Tiefe sowie die Aufnahme und Beprobung kleinerer lokaler Aufschlüsse. Für die stratigrafische Einstufung der beprobten Grundmoränen aus Bohrungen und Aufschlüssen wurden insgesamt 67 Kleingeschiebezählungen durchgeführt und bewertet.

Die gesammelten zahlreichen Punktinformationen erlangten durch die geologische Aufnahme der Leitungsgräben für die Gastrassen OPAL (2010) und EUGAL (2019) abschnittsweise zu einem hohen Erkenntnisgewinn für das Verständnis der quartären Prozesse im Gebiet des Doppelblatts Bad Freienwalde/Letschin-Mieszkowice.

Die beiden vorliegenden Kartenblätter wurden, analog zur Preußischen Kartierung, als 2-Schichtdarstellung der oberflächennahen Bildungen angelegt, hier jedoch mit einem Aussagewert zur geologischen Situation bis zu einer Teufe von 5 m. Zusätzlich zum o.g. genannten grenzüberschreitenden Profilschnitt wurde für das Doppelblatt ein gemeinsames Erläuterungsheft in deutscher und polnischer Sprache erarbeitet. Dieses bildet den derzeitigen Kenntnisstand zur Geologie des Raumes ab. Nach der Darstellung zur tiefeingeologischen Situation folgen die Kapitel zum Paläozoikum, Mesozoikum, Paläogen und Neogen. Den Ausführungen zum Quartär schließen sich Abschnitte zur Boden-, Hydro- und Ingenieurgeologie sowie zum Altbergbau und zu Rohstoffen an. Die Kapitel Ur- und Frühgeschichte, Geotope sowie mögliche Exkursionen im Kartierungsraum runden die Erläuterungen ab.

Norbert Schlaak und Slawomir Kowalski



Brandenburg. geowiss. Beitr.	Cottbus	26 (2019), 1/2	S. 35–43	3 Abb., 3 Tab., 13 Zit.
------------------------------	---------	----------------	----------	-------------------------

## Erfahrungen bei der Anwendung des GEBAH-Moduls „Geneseklassen“

### Experiences with the application of the GEBAH-Module „Genetic classes“

GERHARD HOTZAN

#### 1 Einleitung

Auf dem Weg des Wassers vom atmosphärischen Niederschlag bis zu den Grundwässern in den tiefen bedeckten Grundwasserleitern kommt es zu Reaktionen zwischen den Fluiden und Gasen in den Porenräumen und dem Substrat der Grundwasserleiter (GWL), deren Ergebnisse sich im Grundwasserchemismus widerspiegeln. Am Ausgangspunkt der Grundwasserneubildung stehen versickernde, geringmineralisierte Niederschlagswässer. Diese erfahren bei der Passage der Bodenzone im Ergebnis der sich hier vollziehenden Reaktionen (überwiegend Lösungs- und Fällungsreaktionen, Redoxreaktionen sowie Kationenaustausch-, Sorption- und Desorptionsprozesse einschließlich der sich dabei einstellenden und gegenseitig bedingenden Gleichgewichtszustände) unter Beteiligung gasförmiger, flüssiger und fester Komponenten eine erste hydrochemische Überprägung. Der sich dabei ausbildende Grundwasserchemismus bleibt nicht konstant, sondern ändert sich im Ergebnis der in unterschiedlichem Maße weiter ablaufenden oben genannten Prozesse auf dem Weg durch die im jeweiligen Einzugsgebiet verbreiteten GWL. Sowohl lateral innerhalb eines Grundwasserleiters, als auch vertikal über mehrere Grundwasserleiter hinweg kommt es so zu stofflichen Differenzierungen der Ionenzusammensetzung des Grundwassers. Die genetische Entwicklung des Grundwasserchemismus kann mit Hilfe hydrogeochemischer Modelle auf der Grundlage des PIPER-Diagramms (Löffler 1972) bzw. des VALJAŠKO-Diagramms beschrieben werden (RECHLIN 1997, HOTZAN 2011).

Die Untersuchung des Grundwasserchemismus basiert auf Grundwasserproben, die aus den einzelnen Grundwasserleitern mit Hilfe von Brunnen bzw. Grundwassermessstellen gewonnen werden. Diese Proben werden unter Beachtung der einschlägigen DIN-Vorschriften und Richtlinien entnommen und in spezialisierten Laboren analysiert. Für hydrogeochemisch-genetische Betrachtungen ist die Analyse der Hauptionen ausreichend. Dazu zählen  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ . Darüber hinaus besitzen Verbindungen der N-Gruppe ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ),  $\text{Fe}_{\text{ges.}} / \text{Fe}_{\text{gel.}}$ ,  $\text{Mn}_{\text{ges.}} / \text{Mn}_{\text{gel.}}$  sowie UV 254 und DOC zur Identifikation geogener

und anthropogener Einflüsse Bedeutung. Äußerst wichtig ist die Einhaltung der Fehlertoleranzen der Analysen. Der relative Fehler der Ionensummenbilanz sollte nicht mehr als 2% betragen, besser ist eine Abweichung  $< 1\%$ .

Eine Methode zur Charakterisierung des Entwicklungsprozesses des Grundwasserchemismus in den Lockergesteinsgrundwasserleitern des Norddeutschen Tieflands besteht in der Ermittlung der „Geneseklassen“.

Die theoretischen Grundlagen und die Methodik wurden bereits publiziert (HOTZAN 2010, HOTZAN 2011). Die „Geneseklassen“ sind Gruppen von Analysen, für die hydrogeochemisch-genetisch begründete Indizes ermittelt werden, die in komprimierter Form Informationen zur Herkunft und zum Entwicklungsgrad sowie zu geogenen und anthropogenen Beeinflussungen von Grundwässern beinhalten. Die „Geneseklassen“ werden auf der Grundlage eines Algorithmus im Ergebnis der Berechnung der Lagepunkte der Wasseranalysen im VALJAŠKO-Diagramm (vgl. RECHLIN 1997) in Kombination mit den prozentualen Anteilen der in der Lösung befindlichen hypothetischen Salze, der Milieuparameter sowie ausgewählter Stoffkonzentrationen und Ionenverhältnisse ermittelt. Die Abgrenzungskriterien für die einzelnen „Geneseklassen“ tragen empirischen Charakter.

Die Zuordnung der Wasseranalysen zu „Geneseklassen“ konnte durch die Prüfung der Verteilungsgesetzmäßigkeiten der typprägenden Anionen mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitsnetzen (WAGNER et al. 2009) statistisch abgesichert werden. Durch Isotopenuntersuchungen zur absoluten Altersbestimmung wurde die Altersabfolge der einzelnen „Geneseklassen“ überprüft und verifiziert (F. BEDNORZ & D. BROSE 2017).

Mit GEBAH 1.1 (RECHLIN et al. 2010) sowie den Nachfolgeversionen 1.2 bis 1.3 liegt eine Software zur Berechnung der Lagepunkte von Wasseranalysen im VALJAŠKO-Diagramm (VALJAŠKO 1961) einschließlich der prozentualen Anteile der in der Lösung befindlichen hypothetischen Salze sowie typischer Salzverhältnisse vor.

Durch das Modul „Geneseklassen“ wird das Programm GEBAH ergänzt. Das Modul nimmt die Zuordnung von Wasseranalysen zu genetisch begründeten Klassen, den

„Geneseklassen“ vor. Die Daten-Ein- und Ausgaben in Excel- sowie Access-Formaten gestatten die komfortable Verarbeitung auch größerer Datenmengen in einem vertretbaren zeitlichen Rahmen.

Die „Geneseklassen“ sind als Kartiereinheiten für eine Grundwasserleiter spezifische Darstellung in einer thematischen, hydrogeochemisch-genetischen Karte konzipiert. Unter Berücksichtigung des hydrogeologischen Umfeldes eröffnet sich durch diese Karte die Möglichkeit, begründete Aussagen über die Herkunft der Wässer sowie die Speisungsbedingungen in einem Einzugsgebiet zum Zeitpunkt der Grundwasserprobenahme zu treffen.

## 2 Der aktuelle Stand der Systematik der „Geneseklassen“

Im Rahmen der Erarbeitung des Algorithmus zur Programmierung des GEBAH-Moduls „Geneseklassen“ sowie in der sich anschließenden Testphase wurden in Ergänzung und Präzisierung zu den Veröffentlichungen von HOTZAN 2010 & 2011 „Geneseklassen“ zusammengefasst und weitere eingeführt. Die detaillierte Charakteristik ist in der Hilfe-Datei des Programm-Moduls dokumentiert. Die aktuelle Gesamtübersicht zu den „Geneseklassen“ der Neubildungsbürtigen Wässer zeigt Tabelle 1.

In Abhängigkeit vom Entwicklungsgrad der Grundwässer werden die Genesegruppen der Oberflächenwässer (A), der jungen Uferfiltratwässer (B), der gealterten Uferfiltratwässer (C), der jungen Neubildungswässer (D), der gealterten Neubildungswässer (E), der alten Neubildungswässer (F) sowie der statischen Wässer (G) unterschieden. Die weitere Differenzierung erfolgt in Abhängigkeit vom Charakter der Beeinflussung und wird durch eine angehängte zweistellige Zahlenkombination ausgedrückt. Beeinflussungstypen sind dabei die unbeeinflussten, die anthropogen beeinflussten so-

wie die geogen beeinflussten Grundwässer. Die anthropogen beeinflussten Grundwässer werden weiter in nicht versauerte, in durch Pyritverwitterung beeinflusste sowie versauerte Wässer unterteilt, die geogen beeinflussten Grundwässer in geogen-salinar beeinflusste sowie versauerte Wässer aufgeschlüsselt.

Die salinaren Wässer im Salzwasserstockwerk werden mit dem Index „H“ charakterisiert. Weiterhin werden die Genesegruppen der salinaren Ablaugungswässer, der salinaren Formationswässer sowie der salinaren Regenerationswässer unterschieden. Die weitere Differenzierung erfolgt in Abhängigkeit vom Charakter der den Grundwasserchemismus beeinflussenden Prozesse und wird durch eine angehängte Zahlenkombination ausgedrückt. Maßgebliche Prozesse (Beeinflussungstypen) sind dabei Lösung und Kationenaustausch. Letzterer kann weiter in eine Alkalisierung, eine Erdalkalisierung sowie ein Kationengleichgewicht differenziert werden.

Salinare Regenerationswässer entstehen beim Eindringen von Süßwässern in das Salzwasserstockwerk. Es kommt zu einem Kationenaustausch in Form einer Alkalisierung. Diese Wässer werden einer gesonderten Geneseklasse zugeordnet.

Tabelle 3 zeigt eine Übersicht zu den „Geneseklassen“ salinärer Wässer im Süßwasserstockwerk. Die salinaren Wässer im Süßwasserstockwerk werden mit dem Index „I“ charakterisiert. Alle diese Wässer haben ihren Ursprung im Salzwasserstockwerk. Bei gleichzeitigem Vorliegen wasserwegbarer geologischer Strukturelemente (quartäre Rinnen, tektonische Störungen) sowie einem höherem Druckpotential im Salzwasserstockwerk im Vergleich zum Süßwasserstockwerk können die salinaren Wässer aus dem Salzwasserstockwerk in die GWL des Süßwasserstockwerks intrudieren. In Abhängigkeit von der Verweilzeit in den GWL des Süßwasserstockwerks werden als Genesegruppen

Genesegruppe / Entwicklungsgrad	Beeinflussungstyp					
	unbeeinflusst	anthropogen beeinflusst			geogen beeinflusst	
		nicht versauert	durch Pyritverwitterung beeinflusst	versauert pH<6,5	geogen-salinar beeinflusst	Versauerung pH<6,5
Oberflächenwässer	A					
junge Uferfiltratwässer	B11					
gealterte Uferfiltratwässer	C11					
junge Neubildungswässer	D11	D21	D22	D23	D31	D34
gealterte Neubildungswässer	E11	E21	E22	E23	E31	E34
alte Neubildungswässer	F11	F21		F23	F31	F34
statische Grundwässer	G11				G31	

Tab.1: Systematik der „Geneseklassen“ neubildungsbürtiger Wässer

Tab.1: Systematics of the genesis classes of groundwater recharge influenced water

Genesegruppe	Beeinflussungstyp			
	Lösung	Kationenaustausch		
		Alkalisierung	Erdalkalisierung	Kationengleichgewicht
salinare Ablaugungswässer	H311	H312	H313	H34
salinare Formationswässer			H321, H322, H323	
salinare Regenerationswässer		H33		

Tab.2: Systematik der Geneseklassen salinärer Wässer im Salzwasserstockwerk

Tab.2: Systematics of the genesis classes of saline waters in the saline aquifers

Genesegruppe / Entwicklungsgrad	Beeinflussungstyp			
	Verdünnung	Kationenaustausch		
		Alkalisierung (Aufsüßung)	Erdalkalisierung (salinare Intrusion)	Kationengleichgewicht
frisch intrudierte salinare Wässer	I311	I312	I313	I34
gealterte salinare Wässer		I33	I32	

Tab.3: Systematik der Geneseklassen salinärer Wässer im Süßwasserstockwerk

Tab.3: Systematics of the genesis classes of saline waters in the freshwater aquifers

die frisch intrudierten salinaren Wässer und die gealterten salinaren Wässer unterschieden. Die weitere Differenzierung erfolgt auch bei diesen Wässern in Abhängigkeit vom Charakter der den Grundwasserchemismus beeinflussenden Prozesse. Im Index werden diese durch eine angehängte Zahlenkombination ausgedrückt. Maßgebliche Prozesse (Beeinflussungstypen) sind dabei Verdünnung und Kationenaustausch. Letzterer kann in eine Alkalisierung, gleichbedeutend mit einer Aufsüßung der im GWL verbreiteten salinaren Wässer, eine Erdalkalisierung, gleichbedeutend mit einer aktiven salinaren Intrusion sowie ein Kationengleichgewicht differenziert werden.

### 3 Grenzen der Aussagefähigkeit und zu beachtende Probleme

Bei der Arbeit mit dem Modul „Geneseklassen“ wurden Interpretationsspielräume und Grenzen der Anwendbarkeit bei den unten aufgeführten Problemstellungen deutlich:

#### 3.1 Fehlertoleranzen der Analysen

Die Anwendung des Programms GEBAH einschließlich des Moduls „Geneseklassen“ setzt eine hohe Analysengenauigkeit voraus. Um zuverlässige Ergebnisse zu erhalten sind die in der Programmdokumentation vorgeschriebenen relativen Analysenfehler unbedingt einzuhalten. Durch die

programminterne auf mathematisch-statistischer Basis beruhende Näherungsberechnung können zwar geringfügige Analysenfehler korrigiert werden, jedoch ist bei relativen Fehlern > 3% die Aussage zunehmend unsicher.

#### 3.2 Empirisch ermittelte Kriterien der Geneseklassenzuordnung

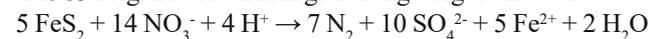
Die Zuordnung der Wasseranalysen zu einzelnen „Geneseklassen“ erfolgt auf der Grundlage von empirischen Kriterien. Die so ermittelten Klassen wurden mit statistischen Verfahren (Wahrscheinlichkeitsnetze in WAGNER 2009) auf ihre Konsistenz geprüft, jedoch können bei Werten im Umfeld der Klassengrenzen im Kontext mit Analysenfehlern Unsicherheiten bei der Klassenzuordnung nicht ausgeschlossen werden. Es wird in diesem Fall empfohlen, Analysen zu wiederholen und Maßnahmen zu ergreifen, um die Analysengenauigkeit zu erhöhen.

#### 3.3 Zusätzliche Sulfateinträge in das Grundwasser im Ergebnis einer autotrophen Denitrifikation

In unbedeckten, aber auch in bedeckten pleistozänen GWL wurden in den letzten Jahren steigende Sulfat- und Eisenkonzentrationen bei gleichzeitiger Verringerung der Nitratgehalte festgestellt. Diese Erscheinungen werden insbesondere in Gebieten mit intensiver landwirtschaftlicher

Nutzung beobachtet, d. h. in den Verbreitungsgebieten anthropogen beeinflusster Neubildungswässer.

Die Sulfat- und gelösten Eisen-Ionen bilden sich im Ergebnis einer autotrophen Denitrifikation, für die nach KÖLLE et al. 1983 folgende Reaktionsgleichung aufgestellt wurde:



In Abhängigkeit von den Ausgangskonzentrationen können die zusätzlichen Sulfateinträge im GEBAH/ Geneseklassen zu Änderungen der „Genese-Klasse“ führen. Die Grundwässer werden scheinbar jünger (z. B. Entwicklung von anthropogen beeinflussten gealterten Neubildungswässern der „Genese-Klasse“ E21 zu jungen anthropogen beeinflussten Neubildungswässern der „Genese-Klasse“ D21). Im Ergebnis der Auswertung von Analysenreihen von Brunnen oder Messstellen eröffnet sich dadurch aber auch die Möglichkeit, sich ausbildende Redoxfronten und die damit in Zusammenhang stehenden Probleme wie erhöhte Uran-Gehalte oder die Verockerung von Brunnen zu erkennen und auszukartieren.

### 3.4 Anorganische anthropogene Stoffeinträge durch mineralische Düngemittel

Im Modul „Geneseklassen“ erfolgt die Identifikation anorganischer anthropogener Stoffeinträge in das Grundwasser und demzufolge die Zuordnung dieser Wässer zu den anthropogenen Beeinflussungstypen durch die unten aufgeführten vier Entscheidungskriterien. Dabei handelt es sich um Nitrat- (Kriterium  $\text{NO}_3^- > 2 \text{ mg/L}$ ), Kalium- (Kriterium  $\text{K}^+ > 7 \text{ mg/L}$ ) und Sulfat- Ionen - (Kriterium  $130 \text{ mg/L} > \text{SO}_4^{2-} > 250 \text{ mg/L}$ ) sowie um die Chlorid-Salze (Kriterium  $\text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2 + \text{NaCl} + \text{KCl} > 15\%$  und  $\text{NaCl} + \text{KCl} < 15\%$ ).

Anorganische kaliumhaltige mineralische Düngemittel bestehen überwiegend aus chloridischen (KCl) und sulfatischen Kaliumsalzen ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ). Als Nebenbestandteile beinhalten sie NaCl,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{MgSO}_4$  sowie  $\text{CaSO}_4$ . Es sind demzufolge die gleichen Salze, die auch bei geogen-salinaren Beeinflussungen relevant sind (Kriterium  $\text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2 + \text{NaCl} + \text{KCl} > 15\%$  und  $\text{NaCl} + \text{KCl} > 15\%$ ). Unter Flächen mit intensivem Düngemiteleinsatz kann dies dazu führen, dass in den dort verbreiteten anthropogen beeinflussten Neubildungswässern das Salinar-Kriterium überschritten wird und diese Wässer im Modul „Geneseklassen“ den „salinaren“ bzw. den „salinar- beeinflussten“ Neubildungswässern zugeordnet werden. Erst unter Hinzuziehung des Geologischen Grund-Verhältnisses und des Salinar-Matrix-Koeffizienten (GGV und SMK, BROSE 2017) und im Ergebnis von detaillierten Standortrecherchen kann entschieden werden, ob es sich um eine echte geogene Grundwasserver-salzung oder um anthropogen beeinflusste Wässer handelt.

### 3.5 Geogen-salinar beeinflusste und beeinträchtigte Wässer

„Geogen-salinar beeinflusste“ Wässer sind Neubildungswässer, die nach der Berechnungsvorschrift des Moduls „Geneseklassen“ die Bedingungen  $\text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2 + \text{NaCl}$

$+ \text{KCl} > 15\%$  und  $\text{NaCl} + \text{KCl} > 15\%$  (bei einer Gesamt-mineralisation  $< 350 \text{ mg/L}$   $\text{NaCl} + \text{KCl} > 20\%$ ) erfüllen müssen. Zur Prüfung des Beeinflussungsgrades durch salinare Wässer werden zusätzlich GGV und SMK ermittelt. Als Prüfkriterium für einen Salzwassereinfluss gilt dabei  $\text{GGV} < 0,05$  und  $\text{SMK} < 1$ .

GGV und SMK sind jedoch sehr sensible Parameter, die salinare Speisungsanteile schon bei sehr geringen Cl-Konzentrationen belegen und das obige Prüfkriterium bereits erfüllen, auch wenn die Bedingungen für eine „salinare Beeinflussung“ im Sinne des Moduls „Geneseklassen“ noch nicht gegeben sind, d. h. die Neubildungswässer noch „unbeeinflusst“ sind. Die Bezeichnungen der „Geneseklassen“ dieser „unbeeinflussten“ Neubildungswässer erhalten dann den Zusatz „salinar beeinträchtigt“.

## 4 Beispiel für eine hydrogeochemisch-genetische Kartierung auf der Grundlage von „Geneseklassen“

Im Weiteren soll die Anwendung der „Geneseklassen“ bei der Kartierung der hydrogeochemisch-genetischen Verhältnisse am Beispiel der Erkundung des Einzugsgebietes einer Wasserfassung in Ostbrandenburg demonstriert werden.

Das Beispielgebiet befindet sich im Bereich des Berliner Urstromtals, einer Hauptabflussbahn von Schmelzwässern der Weichsel-Kaltzeit. Der hier anzutreffende unbedeckte Grundwasserleiter (GWL) weist eine Mächtigkeit von bis zu 35,0 m auf. Er besteht aus Weichsel-kaltzeitlichen glazifluviatilen Fein-, Mittel- und Grobsanden sowie Saale-kaltzeitlichen Fein- und Mittelsanden. Als Liegendstauer wirken Saale-kaltzeitliche glazilimnische Beckenschluffe und Geschiebemergel, die Mächtigkeiten zwischen 25 und 35 m erreichen können. Darunter lagert der bedeckte Saale-bis Elster-kaltzeitliche Hauptgrundwasserleiter (HGWL). Er besteht aus Mittel- bis Grobsanden, die eine Mächtigkeit von ca. 10 bis 20 m aufweisen. Der Saale-kaltzeitliche Grundwasserhemmer-Komplex ist zwar großflächig verbreitet, weist aber geologische Fenster in Form von Rinnsensystemen auf, die mit schluffigen Feinsanden ausgefüllt sind. Lokal wurden diese Beckensedimente vollständig erodiert, so dass hydraulische Verbindungen zwischen dem unbedeckten GWL und dem bedeckten HGWL bestehen. In einer Aufschlussbohrung wurde ein derartiges geologisches Fenster aufgeschlossen. Die hier erbohrte Schichtenfolge besteht überwiegend aus schluffigen Fein- und Mittelsanden. Im Ergebnis von oberflächengeophysikalischen (geoelektrischen und elektromagnetischen) Messungen sowie Bohraufschlüssen konnte eine vorläufige Konturierung des geologischen Fensters vorgenommen werden. Dieses quert den nördlichen Teil des Anstrombereiches der zukünftigen Brunnen-trasse. Aufgrund seiner Genese (glazigene Rinne) ist es in Nordost-Südwest-Richtung gestreckt und spaltet sich nach Süden in mehrere Arme auf.

Im Nordosten des Betrachtungsgebietes befindet sich eine weitere tiefreichende, nordwest-südost streichende pleisto-

zäne Rinnenstruktur, die Briesener Rinne, in der die quartäre und tertiäre Schichtenfolge bis in das Prärupel-Niveau erodiert ist. Diese Rinne ist mit glazifluviatilen und glazilimnischen Sedimenten gefüllt. Insbesondere an den Rinnenrändern sind lokal sandige Sedimente verbreitet, über die hydraulische Verbindungen zwischen den GWL der verschiedenen stratigraphischen Niveaus bestehen. Über diese Rinnenstruktur erfolgt lokal der Aufstieg hochmineralisierter Wässer aus dem Salzwasserstockwerk in die pleistozänen GWL des Süßwasserstockwerks.

Die Hydrodynamik im unbedeckten GWL sowie im bedeckten HGWL im Einzugsgebiet der erkundeten Wasserfassung ist durch ein Gefälle von ca. 1,0 ‰ charakterisiert. Die generelle Grundwasserfließrichtung ist nach Südwest, zum Vorfluter, der Spree, orientiert. Im Ergebnis der Erfassung der Grundwasserspiegel mittels Datenloggern wurde nachgewiesen, dass die beiden GWL unterschiedliche Druckpotentiale aufweisen (siehe Abb. 1). Im nördlichen Teil des geologischen Fensters zeigt der bedeckte HGWL um ca. 0,2 bis 0,6 m höhere Druckwasserspiegel, d. h. über das geologische Fenster erfolgt hier eine Einspeisung aus dem bedeckten HGWL in den hangenden unbedeckten GWL. Im südlichen Teil des Fensters dagegen sind diese Verhält-

nisse ausgeglichen bzw. umgekehrt, so dass der unbedeckte GWL ein bis 0,06 m höheres Druckpotential aufweist. Der unbedeckte GWL speist in diesem Bereich den bedeckten HGWL.

Im Untersuchungsgebiet existiert eine Reihe von Altmesststellen, die im Rahmen der Braunkohlenerkundung Fürstenwalde 1982 und 1985 errichtet und beprobt wurden. Sie sind in den Niveaus des unbedeckten GWL sowie des bedeckten HGWL verfiltert. Im Rahmen der hydrogeologischen Standorterkundung wurden zwei Brunnen im bedeckten HGWL sowie weitere Messstellen im näheren und weiteren Anstrombereich der Brunnen errichtet.

Durch die Auswertung der aus diesen Brunnen und Grundwassermessstellen gewonnenen Wasseranalysen mit dem Programm „GEBAH“ / „Geneseklassen“ erfolgt die Zuordnung zu „Geneseklassen“, die in Verbindung mit den Koordinaten der Messstellen hydrogeochemisch-genetische Punktinformationen darstellen und mit entsprechenden Symbolen in eine topografische Karte eingetragen werden (vgl. HOTZAN 2012, 2013). Die Kartendarstellung erfolgte grundwasserleiterspezifisch, d. h. sowohl für den unbedeckten GWL sowie den bedeckten HGWL. Angaben zur Grundwasserdynamik (Isohypsenpläne) sowie zu geologi-

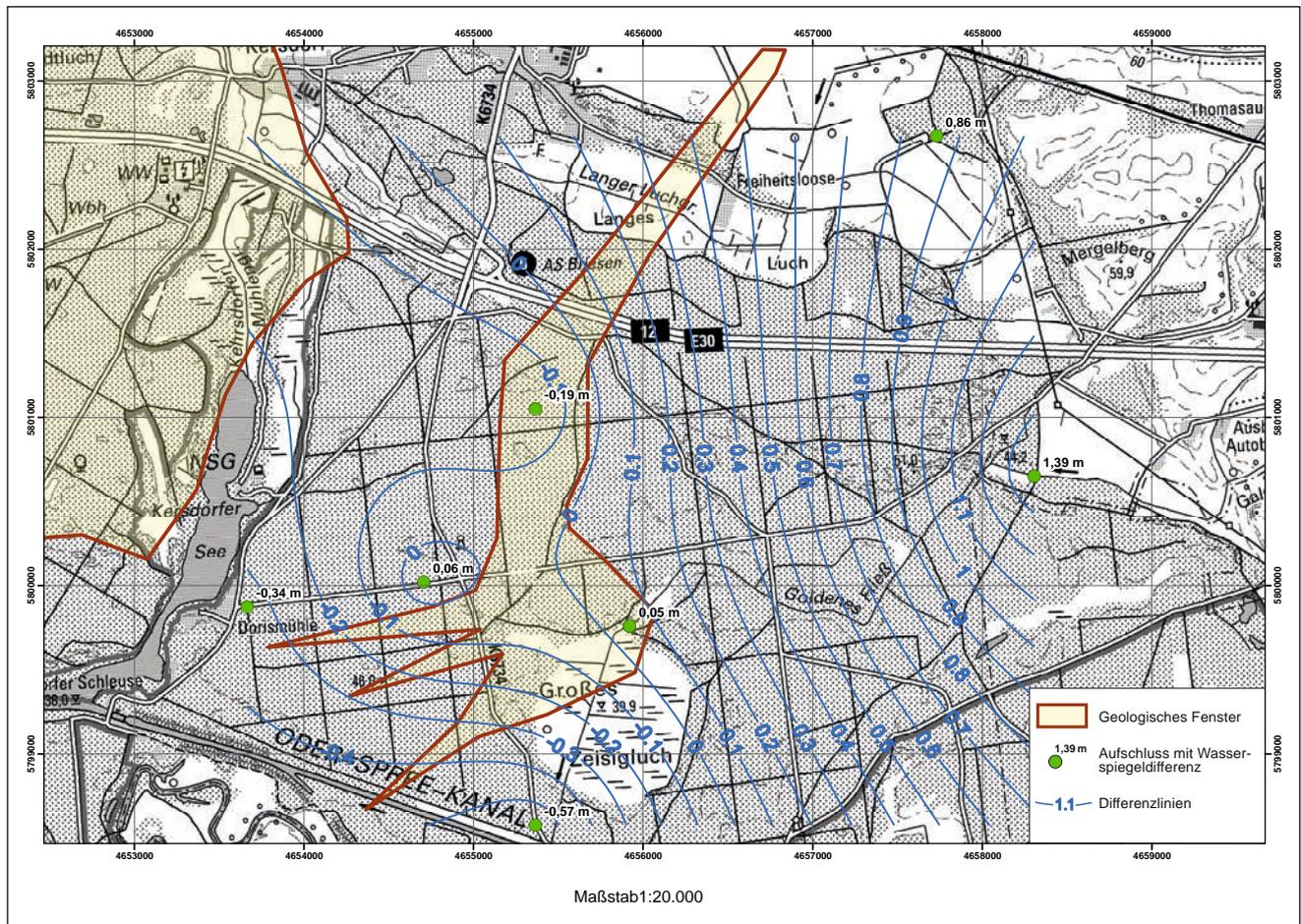


Abb. 1: Geologische Fenster mit Wasserstands-differenzplan  
 Fig. 1: Geological window with a map of the pressure gradient between the two aquifers

schen Strukturelementen (z. B. geologische Fenster, glazi- gen gestörte Bereiche, tektonische Störungen), die als Was- ser wegsame Bereiche wirken, ergänzen die Darstellung. Durch die ausreichend hohe Aufschlussdichte im Betrach- tungsgebiet konnten, unter Berücksichtigung der hydrody- namischen Verhältnisse sowie der Lage der geologischen Strukturelemente, Genesearale auskartiert werden.

Die hydrogeochemisch-genetische Auswertung der Was- seranalysen aus dem unbedeckten GWL zeigt ein heteroge- nes Bild (siehe Abb. 2). Neben den jungen („Geneseklas- sen D11, D21) findet man in diesem GWL auch gealterte („Geneseklasse“ E11) und alte Neubildungswässer („Ge- neseklasse“ F11). Lokal wurden salinar beeinflusste junge Neubildungswässer („Geneseklasse“ D31) angetroffen.

Die Filter der Grundwassermessstellen befinden sich in zwei Teufenniveaus des innerhalb des unbedeckten GWL, in ei- nem hangenden (Weichsel-kaltzeitlichen) mittel- bis gro- sandigen Bereich und einem liegenden (Saale-kaltzeitlichen) fein- bis mittelsandigen Bereich. Der Hangendbereich wird hydrogeochemisch-genetisch überwiegend von jungen Neu- bildungswässern der „Geneseklassen“ D11 und D21 domi- niert. Im Abstrom des geologischen Fensters sind in diesem Niveau auch salinar beeinflusste junge Neubildungswässer

der „Geneseklasse“ D31 anzutreffen. Die Genesearale in diesem Niveau werden mit Vollfarben dargestellt.

Im Liegendbereich des unbedeckten GWL dominieren im Abstrom des geologischen Fensters im Norden salinar be- einflusste Neubildungswässer, im Süden unbeeinflusste alte Neubildungswässer der „Geneseklasse“ F11. Außerhalb des Einflussbereichs des geologischen Fensters sind junge und gealterte Neubildungswässer der „Geneseklassen“ D11 und E11 anzutreffen. Die Genesearale in diesem Niveau sind schraffiert dargestellt.

Die hydrogeochemisch-genetische Auswertung der Was- seranalysen aus den Brunnen und Messstellen im bedeck- ten HGWL zeigt ebenfalls ein sehr heterogenes Bild (siehe Abb. 3). Im südlichen Teil des Einzugsgebiets sowie im An- strom des geologischen Fensters dominieren alte, unbeein- flusste Neubildungswässer der „Geneseklasse“ F11 sowie statische Wässer der „Geneseklasse“ G11. Im südlichen Teil des geologischen Fensters gelangen, bei abwärts gerichte- tem Druckgradienten, junge Neubildungswässer der „Ge- neseklasse“ D11 in den bedeckten HGWL und breiten sich mit dem Grundwasserstrom in westliche Richtung aus. Die Übergangszonen zwischen den jungen und den alten Neu- bildungswässern sind durch Mischwässer („Geneseklassen“

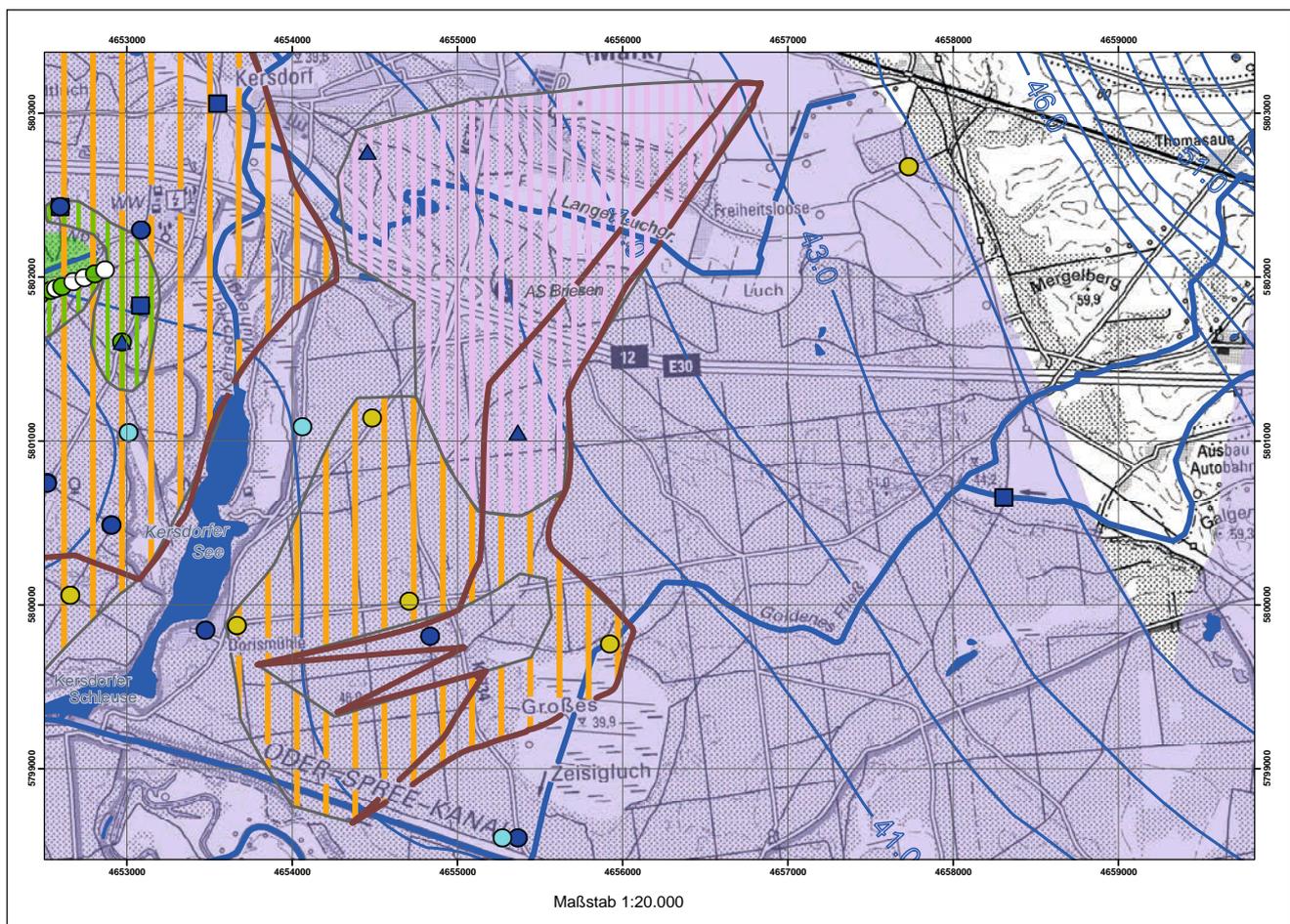


Abb. 2: Hydrogeochemisch-genetische Karte des unbedeckten weichsel- bis saalekaltzeitlichen GWL

Fig. 2: Hydrogeochemical-genetic map of the uncovered Weichselian and Saalian aquifers

E11 und E21) charakterisiert. Im nördlichen Seitenstrom bewegt sich eine Salzwasserfahne ausgehend von der Briener Rinne in südwestliche Richtung zur Vorflut (Spree). Sie wird durch salinare, gealterte erdalkalisierte Wässer der „Geneseklasse“ I32 im Kernbereich sowie alte, salinar beeinflusste Neubildungswässer der „Geneseklasse“ F31 an den Flanken charakterisiert.

Im nördlichen Brunnen wurden während eines Pumpversuches junge Neubildungswässer der „Geneseklasse“ D11 gefördert, die über das geologische Fenster aus dem unbedeckten GWL in den bedeckten HGWL gelangen. Mit zunehmender Pumpdauer wurden sulfatärmere Wässer aus dem lateralen Anstrom aktiviert, die jedoch noch nicht zu

einem Wechsel der „Geneseklasse“ führten. Die im nördlichen Seitenstrom nachgewiesene Salzwasserfahne wurde durch das Förderregime des Brunnens nicht in das Einzugsgebiet hineingezogen.

Im südlichen Brunnen wurden während des Pumpversuches die ursprünglich noch vorhandenen alten unbeeinflussten Neubildungswässer („Geneseklasse“ F11) durch statische unbeeinflusste Wässer der „Geneseklasse“ G11 ersetzt. Hydraulisch wirksame geologische Fenster sind in diesem Bereich nicht vorhanden. Im weiteren Einzugsgebiet sind alte unbeeinflusste Neubildungswässer der „Geneseklasse“ F11 nachgewiesen worden, deren Aktivierung bei entsprechend langer Betriebsdauer möglich erscheint.

## Legende der hydrogeochemisch-genetischen Karte

### Aufschlussbewertung

-  junges Uferfiltrat
-  altes Uferfiltrat
-  junge, unbeeinflusste Neubildungswässer
-  junge, anthropogen beeinflusste Neubildungswässer
-  junge Neubildungswässer mit Beeinflussung durch Pyritverwitterung
-  junge, versauerte, anthropogen beeinflusste Neubildungswässer
-  junge, salinar beeinflusste Neubildungswässer
-  junge, versauerte Neubildungswässer
-  gealterte, unbeeinflusste Neubildungswässer
-  gealterte, anthropogen beeinflusste Neubildungswässer
-  gealterte Neubildungswässer mit Beeinflussung durch Pyritverwitterung
-  gealterte, versauerte, anthropogen beeinflusste Neubildungswässer
-  gealterte, salinar beeinflusste Neubildungswässer
-  gealterte versauerte Neubildungswässer
-  alte, unbeeinflusste Neubildungswässer
-  alte, anthropogen beeinflusste Neubildungswässer
-  alte, versauerte anthropogen beeinflusste Neubildungswässer
-  alte, salinar beeinflusste Neubildungswässer
-  alte, versauerte Neubildungswässer
-  statische, unbeeinflusste Grundwässer
-  statische, salinar beeinflusste Grundwässer
-  salinare Ablaugungswässer
-  salinare alkalisierte Wässer
-  salinare erdalkalisierte Wässer
-  salinare gealterte erdalkalisierte Wässer
-  salinare gealterte alkalisierte Wässer
-  salinare Gleichgewichtswässer
-  keine Analysen

### GW-Isotypen

-  +20 Isolinien (m NHN)
-  +30 Isolinien vermutet (m NHN)

### Genesereale

-  junges Uferfiltrat, anthropogen beeinflusst
-  junge GWN, unbeeinflusst bis anthropogen beeinflusst
-  junge GWN, durch Pyritverwitterung beeinflusst
-  junge GWN, versauert
-  gealterte GWN, unbeeinflusst bis anthropogen beeinflusst
-  alte GWN, unbeeinflusst bis anthropogen beeinflusst
-  statisches GW, unbeeinflusst
-  geogen-salinar beeinflusste Neubildungswässer, undifferenziert
-  salinare Ablaugungswässer
-  salinare erdalkalisierte Wässer
-  salinare alkalisierte Wässer
-  salinare, gealterte, erdalkalisierte Wässer
-  salinare, gealterte, alkalisierte Wässer
-  salinare Gleichgewichtswässer

### Genesereale im Liegendbereich eines GWL

-  Uferfiltratwässer, undifferenziert
-  gealterte Neubildungswässer, undifferenziert
-  alte Neubildungswässer, undifferenziert
-  salinar beeinflusste Neubildungswässer, undifferenziert
-  salinare erdalkalisierte Wässer
-  salinare alkalisierte Wässer
-  salinare Gleichgewichtswässer

### Gewässer

-  Gewässernetz
-  Seen

### Wasserwegsame geologische Strukturelemente

-  Geologisches Fenster

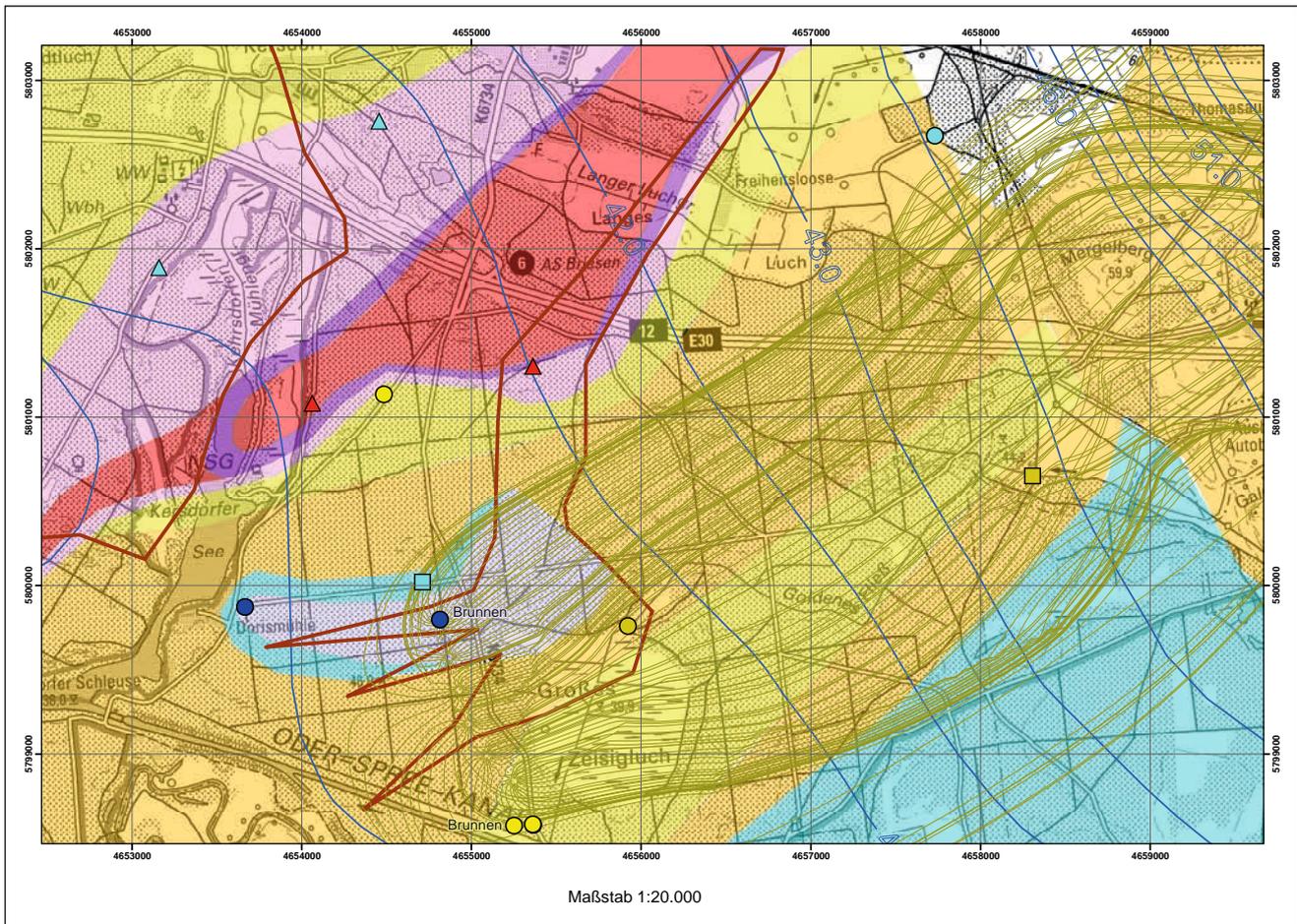


Abb. 3: Hydrogeochemisch-genetische Karte des bedeckten saale- bis elsterkaltzeitlichen HGWL  
 Fig. 3: Hydrogeochemical-genetic map of the covered Saalian and Elsterian main aquifer

## 5 Zusammenfassung

Der mehrjährige Praxistest des GEBAH-Moduls „Geneseklassen“ konnte erfolgreich abgeschlossen werden. Gegenüber den Veröffentlichungen von 2010 und 2011 wurden „Geneseklassen“ ergänzt, umkombiniert bzw. eingezogen. Im Endergebnis steht ein Modul des Programmpaketes GEBAH zur Verfügung, mit dem der Entwicklungsgrad sowie geogene und anthropogene Beeinflussungen von Grundwässern ermittelt werden können. Insbesondere für hydrogeochemisch-genetische Kartierarbeiten in den Lockergesteinsgrundwasserleitern des norddeutschen Tieflandes erweist sich diese Methodik als gut geeignet.

Die im Rahmen der Testarbeiten aufgetretenen Probleme, die zu zweifelhaften Klassenzuordnungen führten, wurden innerhalb des Dezernates Hydrogeologie des LBGR diskutiert und entsprechende Lösungsansätze unterbreitet. An einem Praxisbeispiel einer hydrogeochemisch-genetischen Kartierung im Rahmen der Erkundung eines neuen Fassungsstandortes für ein Wasserwerk in Ostbrandenburg wurde die Leistungsfähigkeit der Methodik demonstriert und die Förderfähigkeit der perspektivischen Wasserfassung durch die Aktivierung überwiegend neubildungsgeprägter, salinar unbeeinflusster Wässer nachgewiesen.

## Summary

The several-year practical test of the GEBAH module “Genesis classes” was successfully completed. Compared to the publications of 2010 and 2011, “Genetic Classes” were supplemented, recombined or withdrawn. The final result is a module of the GEBAH programme package, with which the degree of development as well as geogenic and anthropogenic influences on groundwater can be determined. This methodology is particularly suitable for hydrogeochemical-genetic mapping work in the unconsolidated rock aquifers of the North German Plain.

The problems arising during the test work, which led to doubtful class allocations, were discussed within the department of Hydrogeology at the LBGR and corresponding solutions were submitted. The efficiency of the methodology was demonstrated using a practical example of hydrogeochemical-genetic mapping in the context of the exploration of a new catchment site for a waterworks in Eastern Brandenburg.

## Literatur

- BEDNORZ, F. & D. BROSE (2017): Altersdatierung mittels Isotopenanalytik zur Verweilzeitbestimmung und Identifizierung von Speisungsanteilen des Grundwassers in Brandenburg. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **24**, 1/2, S. 83–101
- BROSE, D. (2017): GEBAH- Eine Software für die konzentrationsunabhängige Früherkennung von Salzwasserintrusionen in Süßwasser führende Grundwasserleiter und Oberflächengewässer. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **24**, 1/2, S. 69–82
- HOTZAN, G. (2010): Genetische Grundwassertypen der Binnenversalzung, ihre Klassifizierung und Erscheinungsformen. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **17**, 1/2, S. 39–53
- HOTZAN, G. (2011): Die Formierung und Entwicklung des Chemismus natürlicher Grundwässer, ihre Widerspiegelung in hydrogeochemischen Genesemodellen sowie ihre Klassifizierung auf hydrogeochemisch-genetischer Grundlage. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **18**, 1/2, S. 77–91
- HOTZAN, G. (2012): Ein Beitrag zur Methodik der hydrogeochemisch-genetischen Kartierung von Grundwässern in den Lockergesteinsgrundwasserleitern des Norddeutschen Tieflands. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **19**, 1, S. 65–80
- HOTZAN, G. & TH. VOSS (2013): Komplexe hydrogeochemisch-genetische Kartierung zur Einschätzung der Salzwassergefährdung pleistozäner und tertiärer Grundwasserleiter im Raum Storkow-Frankfurt (Oder)-Eisenhüttenstadt. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **20**, 1/2, S. 63–82
- KÖLLE, W., WERNER, P., STREBEL, O. & J. BÖTTCHER (1983): Denitrifikation in einem reduzierenden Grundwasserleiter. – Vom Wasser, **61**, S. 125–147
- LÖFFLER, H. (1972): Hydrochemische Typisierung für Grundwasser im Lockergesteinsbereich des norddeutschen Tieflandes. – In: LÖFFLER & MEINERT (2011): Geschichte der Geowissenschaften in der DDR, Teil II, Ostklüne (Störr)
- RECHLIN, B. (1997): Zur Anwendung des Hydrochemischen Genesemodells der Wässer in den Grundwasserleiterkomplexen des Landes Brandenburg (mittelbrandenburgischer Raum, Stand April 1997). – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **4**, S. 67–71
- RECHLIN, B. (2008): Eine Methode zur konzentrationsunabhängigen Früherkennung von Salzwasserintrusionen in süßwasserführende Grundwasserleiter und Oberflächengewässer. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **15**, 1/2, S. 57–68
- RECHLIN, B., HOFFKNECHT, A., SCHOLZ, H. & A. HELMS (2010): Genetische Bewertung von Analysen der Hydrosphäre. – Software GEBAH Vers.1.1, LBGR/GCI, Cottbus, Königs Wusterhausen
- VALJAŠKO, M.G. u.a.(1961): Geochemie der Halokinese. - In: Sb. Tr. Geol. Fakut. Moskau, Isdat. Mosk. Univ. (russ.)
- WAGNER, F., BEER, A., BROSE, D., BUDZIAK, D., CLOS, P., DREHER, T., FRITSCHKE, H.- G., HÜBSCHMANN, M., MARCZINEK, S., PETERS, A., POESER, H., SCHUSTER, H.-J., WAGNER, B., WALTER, T., WIRSING, G. & R. WOLTER (2009): Erläuterungen zum Web Map Service (WMS) „Hintergrundwerte Grundwasser“. – 21S., BGR Hannover

### Anschrift des Autors:

Dipl.-Geol. Gerhard Hotzan  
Landesamt für Bergbau, Geologie  
und Rohstoffe Brandenburg  
Dezernat Hydrogeologie  
Inselstraße 26  
03046 Cottbus  
gerhard.hotzan@lbgr.brandenburg.de



Brandenburg. geowiss. Beitr.	Cottbus	26 (2019), 1/2	S. 45–60	20 Abb., 20 Zit.
------------------------------	---------	----------------	----------	------------------

# 150 Jahre Grundwasserbeobachtung in Berlin – von der ersten Messung bis zum modernen Grundwassermanagement

## 150 years of groundwater observation in Berlin – from the first measurement to a modern groundwater management

ALEXANDER LIMBERG

### 1 Auslöser der Grundwasserbeobachtung in Berlin

Auslöser der ersten Grundwassermessungen in Berlin waren die großen Choleraepidemien Mitte des vorletzten Jahrhunderts. Sie erfassten erstmals im Jahr 1831 Mitteleuropa. Auch in Berlin brach die Seuche 1832 aus; es waren 1.426 Tote zu beklagen. Die Seuche kehrte mit verheerenden Folgen 1854 wieder zurück (EMMERLING-SKALA 2012). Man hatte das „unterirdische Wasser“ im Verdacht, Krankheitsüberträger zu sein (PETTENKOFER 1857). Bis zum Jahr 1866 hatte man angenommen, „dass von der Spree, ihren Armen und Kanälen aus das Wasser weithin in den Erdboden eindringe und denselben nicht nur durchfeuchte, sondern auch verunreinige.“ (RUDOLF VIRCHOW 1873).

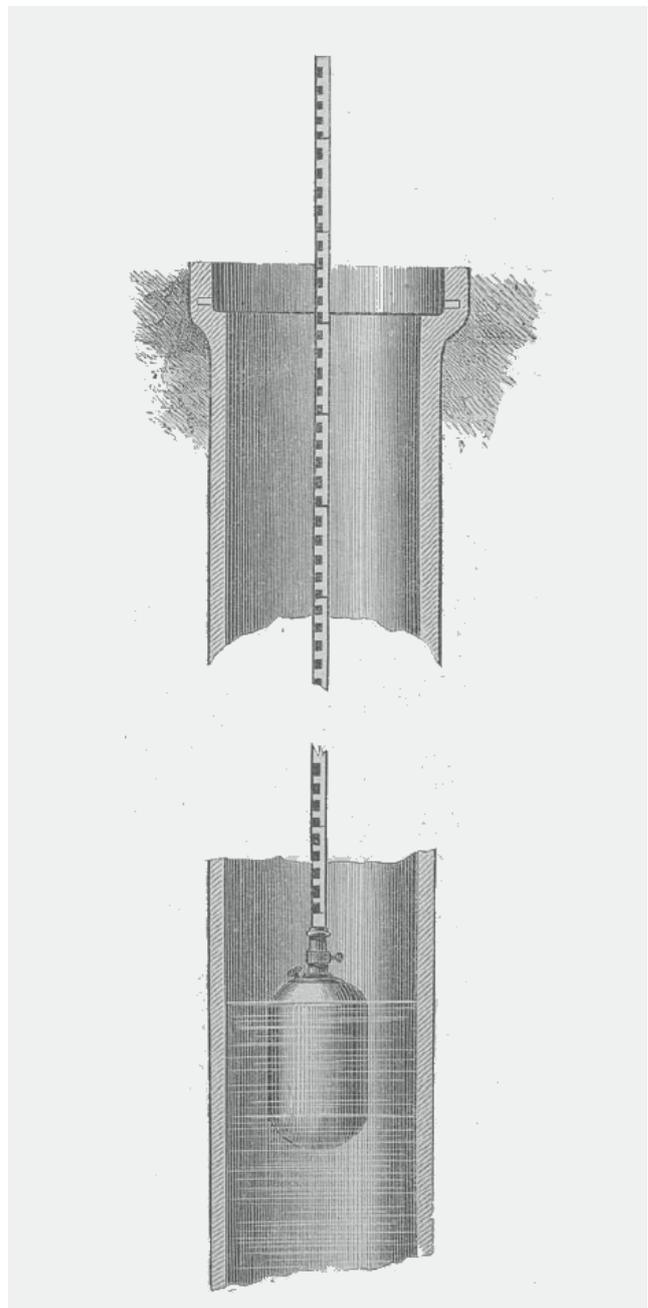
### 2 Grundwassermonitoring

#### 2.1 Grundwassermessnetz

Auf Forderung des Arztes Rudolf Virchow wurden unter dem Berliner Baurat James Hobrecht im Jahr 1869 von September bis November 30 „Grundwasserstandsrohren von 8 Zoll lichter Weite“ errichtet und eingemessen (Abb. 1 und 2), an denen täglich der Grundwasserstand gemessen wurde (HOBRECHT 1871). Diese Messungen bildeten damit vor 150 Jahren den Ausgangspunkt der ältesten durchgehenden Beobachtungsreihen des Grundwassers in Deutschland.

Abb. 1:  
Messung des Grundwasserstandes „mittels einer, durch  
einen kupfernen Schwimmer getragenen Messstange“  
(aus HOBRECHT 1871)

Fig. 1:  
Groundwater level measurement „with a measurement  
stick on a copper float gauge”  
(from HOBRECHT 1871)



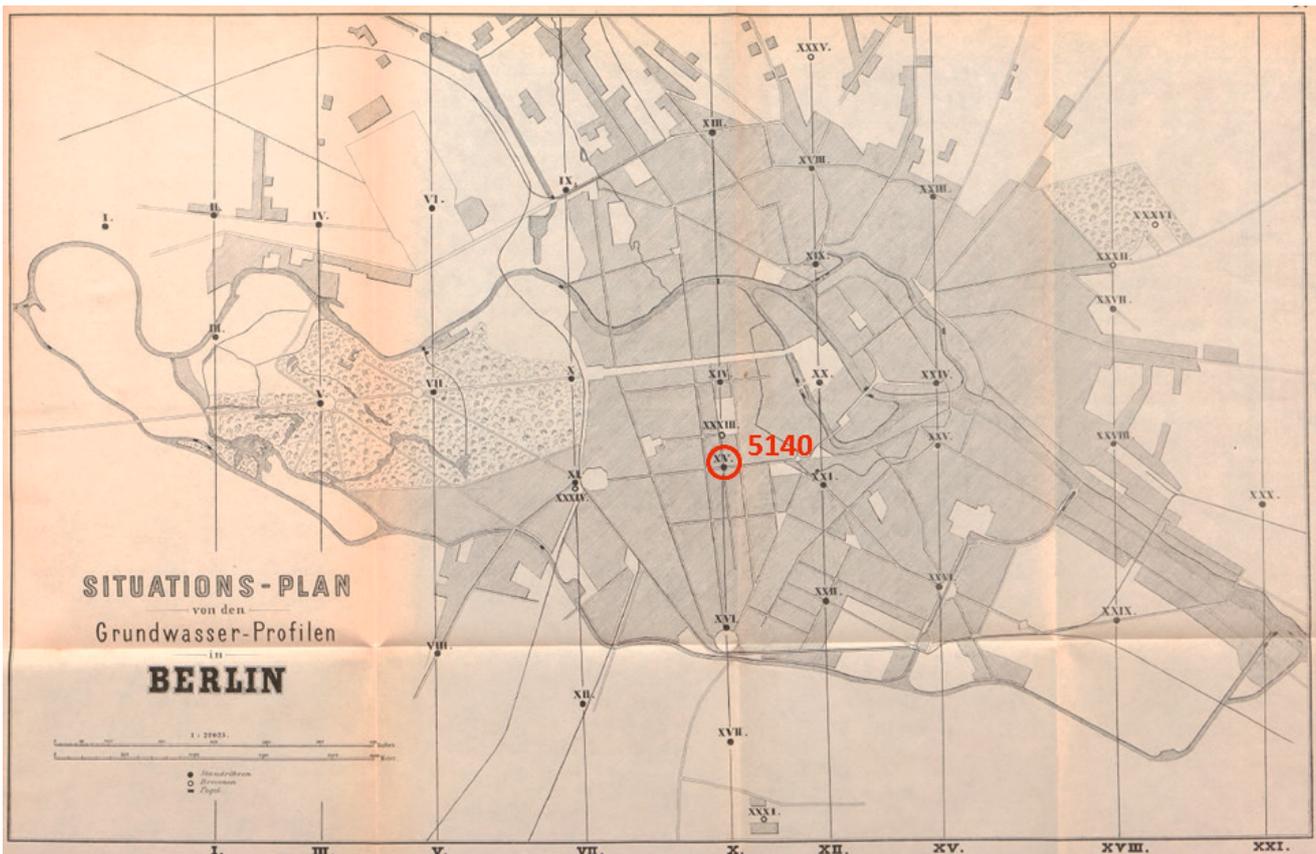


Abb. 2: Lageplan der 30 Grundwassermessstellen und der Profillinien des ersten Grundwassermessnetzes von Berlin im Jahr 1869 (aus HOBRECHT 1871). Die Messstelle XV heißt heute 5140

Fig. 2: Map of the first groundwater monitoring network of Berlin from the year 1869 with the location of 30 observation wells and of the cross sections (see Fig. 3) (from HOBRECHT 1871). The observation well "XV" today is listed under the number "5140"

Anhand der ersten Grundwasserschnitte erkannte man hier erstmals, entgegen der damals geltenden Auffassung, dass das Grundwasser der Vorflut zuströmt (effluente Verhältnisse) und nicht umgekehrt (Abb. 3). Ausnahmen dabei bildeten die Kanäle.

Die Stadt wuchs schnell und mit ihr das Grundwassermessnetz: In den 1930er Jahren umfasste es bereits über 2 000 Messstellen. Heute werden vom Landesgrundwasserdienst der Landesgeologie rund 1 000 Messstellen gemessen, die in unterschiedlichen Grundwasserleitern verfiltert sind. Weitere ca. 1 000 Messstellen der Berliner Wasserbetriebe ergänzen in den Einzugsgebieten der Wasserwerke das Messnetz (Abb. 4).

## 2.2 Messmethoden

Die ersten Messungen wurden „mittels einer, durch einen kupfernen Schwimmer getragenen Messstange“ durchgeführt (Abb. 1) und auf den Mühlendammpegel bezogen. Später kam die Brunnenpfeife zum Einsatz, die durch Einführung des Kabellichtlots fast vollständig aus dem professionellen Gebrauch verschwunden ist. Parallel wurden auch Pegelschreiber und Winkelcodierer zur Grundwasser-

standsaufzeichnung eingesetzt. Heute sind in den ca. 1 000 Grundwassermessstellen digitale Datenlogger mit Drucksonden eingebaut, die täglich die Grundwasserstände aufzeichnen. Die Datenlogger werden derzeit einmal im Monat ausgelesen, überprüft und in eine Datenbank importiert. Knapp 100 Messstellen sind mit Funkloggern ausgerüstet, welche die Daten täglich automatisch übertragen. Aktuell sind 13,5 Mio. Grundwasserstandswerte in der Datenbank enthalten.

## 2.3 Hydrogeologischer Bau von Berlin

Die großen Erkundungsprogramme des Süßwasserstockwerks zur Sicherung der Trinkwasservorkommen der westlichen Stadtbezirke von Berlin in den 1970er und 1980er Jahren durch die Landesgeologie des Senats in Zusammenarbeit mit der Freien Universität Berlin führten zu einem großen Erkenntnisgewinn über den Bau des känozoischen Untergrundes. Daraus abgeleitet, zusammen mit den Ergebnisberichten aus den östlichen Stadtbezirken, erfolgte die Gliederung des Süßwasserstockwerkes von Berlin (LIMBERG & THIERBACH 2002) (Abb. 5). Die hydrostratigraphische Gliederung vom umgebenen Brandenburg erarbeitete MANHENKE (2002).

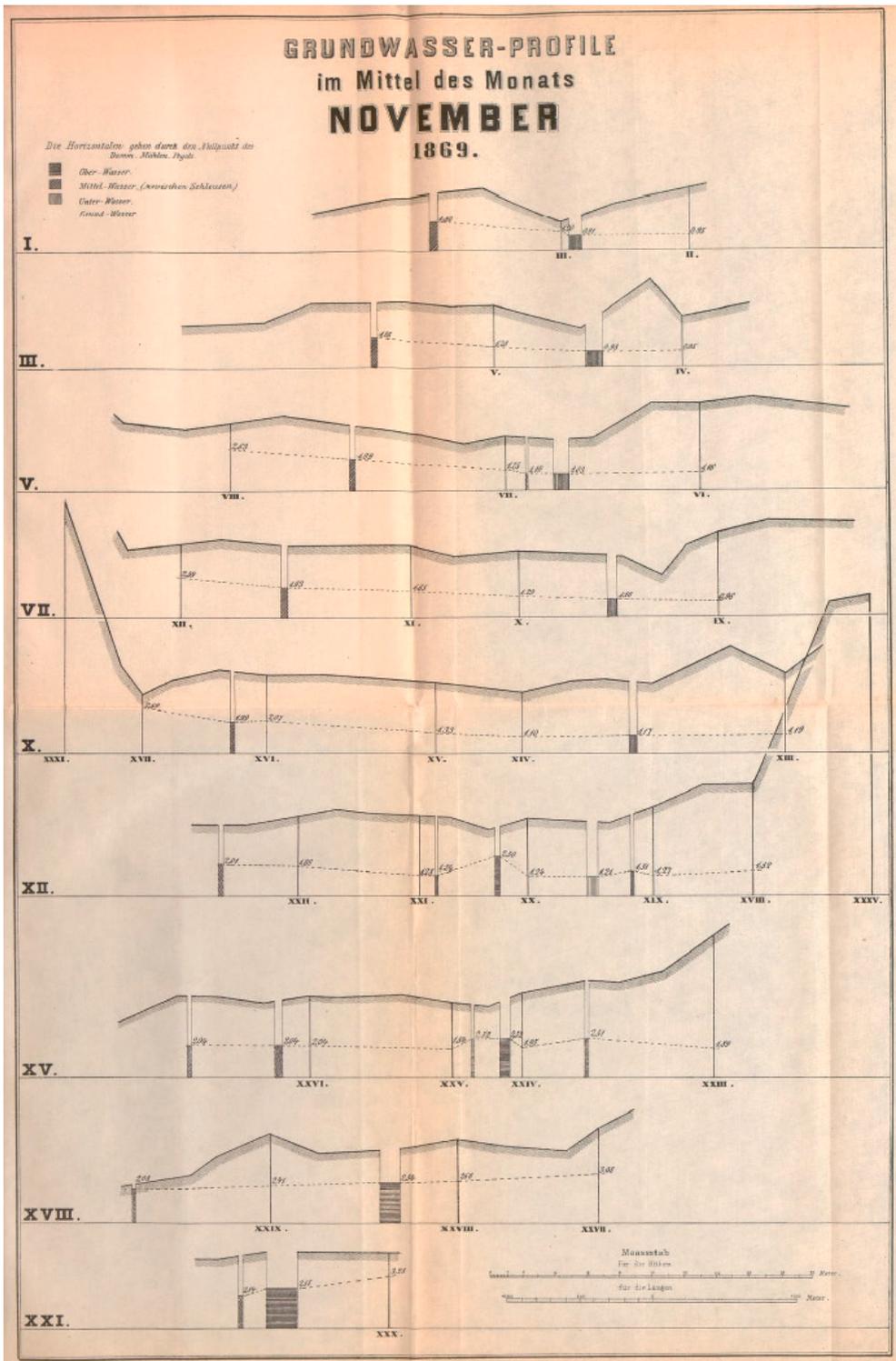


Abb. 3:  
Erste Grundwasserprofile  
im Berliner Stadtgebiet vom  
November 1869  
(aus HOBRECHT 1871),  
Lage der Profilschnitte  
siehe Abb. 2

Fig. 3:  
First cross sections of the  
groundwater situation in the  
city of Berlin from  
November 1869  
(from HOBRECHT 1871),  
location of the cross sections  
see Fig. 2

Adäquat wie im umgebenden Land Brandenburg lässt sich das Süßwasserstockwerk oberhalb des unteroligozänen Rupeltons in vier Grundwasserleiter (GWL) gliedern, die durch bindige Schichten getrennt sind. Der überwiegend Weichsel-kaltzeitliche GWL 1 ist im Urstromtal und im Panketal ausgebildet, während der hauptsächlich Saale-kaltzeitliche GWL 2 stadtwert vorkommt und zur Trinkwasserversorgung genutzt wird. Deshalb nennt man ihn auch Hauptgrundwasserleiter. Der Elster-kaltzeitliche GWL 3

unterhalb der bindigen Holstein-Schichten ist meist auf die Rinnenfazies beschränkt. Hier erreicht er aber Mächtigkeiten von bis zu 150 m. Der tertiäre GWL 4 des Miozäns und Oberoligozäns ist meist mit dem GWL 3 lateral hydraulisch verbunden.

An einigen Stellen haben sich die Elster-kaltzeitlichen Rinnen so tief in den tertiären Untergrund eingeschnitten, dass der 80 m mächtige unteroligozäne Rupelton, der die Barriere zwischen dem Süß- und dem Salzwasserstockwerk



bildet, erodiert ist. Auf der Landesfläche sind bisher fünf Erosionsfenster nachgewiesen (LIMBERG et al. 2016). Diese Fehlstellen bilden mögliche Aufstiegspfade von Salzwasser in das Süßwasserstockwerk.

### 3 Entwicklung der Grundwasserstände in Berlin

Anhand der 150jährigen Entwicklung des Grundwasserstandes einer Messstelle in Berlin Mitte lässt sich sehr gut die wirtschaftliche und politische Entwicklung der Stadt ablesen (Abb. 6).

#### 3.1 Gering beeinflusster Beginn 1869 – 1905

Bis 1890 erkennt man die noch weitgehend natürlichen saisonalen Schwankungen des Grundwasserstandes mit einer großen Amplitude mit hohen Werten im Frühjahr und niedrigen im Herbst (Abb. 7). Mit dem Wachsen der Großstadt, zunehmender Versiegelung und dem Bau von kleinen Trinkwasserbrunnen wurde die Amplitude langsam kleiner, und der Grundwasserstand zeigt bis zum Jahr 1905 einen moderat sinkenden Trend.

#### 3.2 Jahre der starken Bautätigkeit 1905 – 1945

Zu Beginn des letzten Jahrhunderts begannen in der Innenstadt die großen Baumaßnahmen für den Bau der U-Bahnlinie U 6, die dann in den 1930er Jahren mit dem Bau der S-Bahn der Linie S 1, der Reichsbank und vieler anderer Großbauprojekte sowie für die Bunkerbauten gipfelten. Bei den geringen Grundwasserflurabständen im Urstromtal war dafür jedes Mal eine umfangreiche Wasserhaltung mit z. T. über 10 m Grundwasserabsenkung erforderlich (Abb. 8).

Die zahlreichen einzelnen Grundwasserabsenkungen wuchsen zu einem riesigen Senktrichter zusammen. Die Grundwasserhaltungen senkten das Grundwasser im Vergleich zu den weitgehend unbeeinflussten Grundwasserständen von 1869 fast im gesamten Innenstadtraum um mehr als 5 m, an den tiefsten Stellen bis über 13 m ab (Abb. 9) und führten z. T. zu großen Schäden an der Bausubstanz.

Der Regierungs- und Baurat DENNER (1937) stellt dazu fest, „daß der Grundwasserspiegel infolge der künstlichen Absenkung seit Jahren dauernd unter dem Spreespiegel liegt,“ und führt weiter zu den Schäden und Gefahren für die Großstadt aus: „Mehrfach wurden, wie eingangs schon

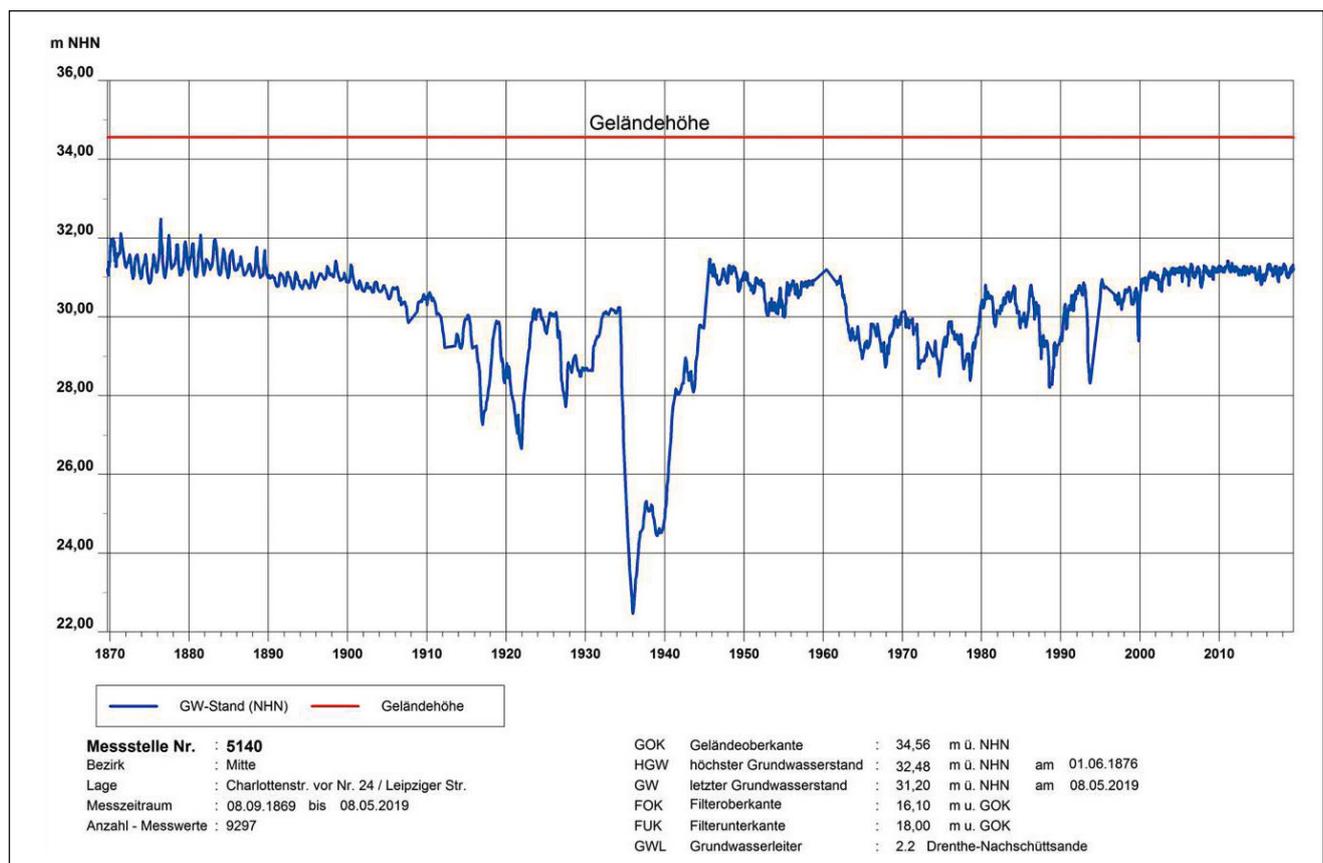


Abb. 6: 150 jährige Grundwasserstandsganglinie der Messstelle 5140 in Berlin Mitte (Lage der Messstelle s. Abb. 2). Der Grundwasserstand ist durch zahlreiche Grundwasserabsenkungen seit 1905 zeitweise stark beeinflusst.

Fig. 6: Hydrograph of the groundwater level during 150 years at the observation well 5140 in the borough of Berlin Mitte (Location see Fig. 2). The groundwater level has been highly affected by numerous drawdowns since 1905.

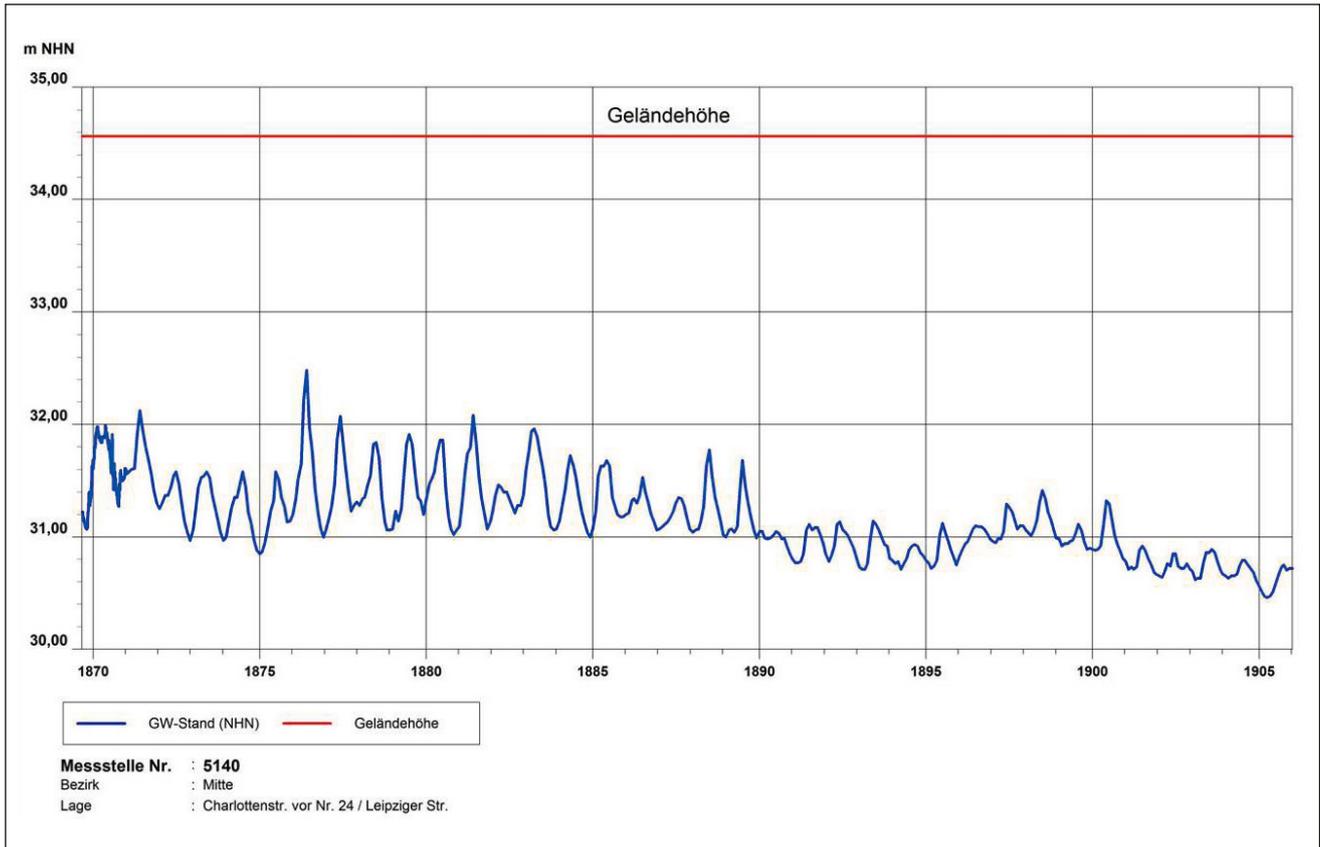


Abb. 7: Grundwasserstandsganglinie der Messstelle 5140 in Berlin Mitte mit Messungen von 1869 bis 1905

Fig. 7: Hydrograph of the observation well 5140 in the borough of Berlin Mitte with measurements from 1869 to 1905

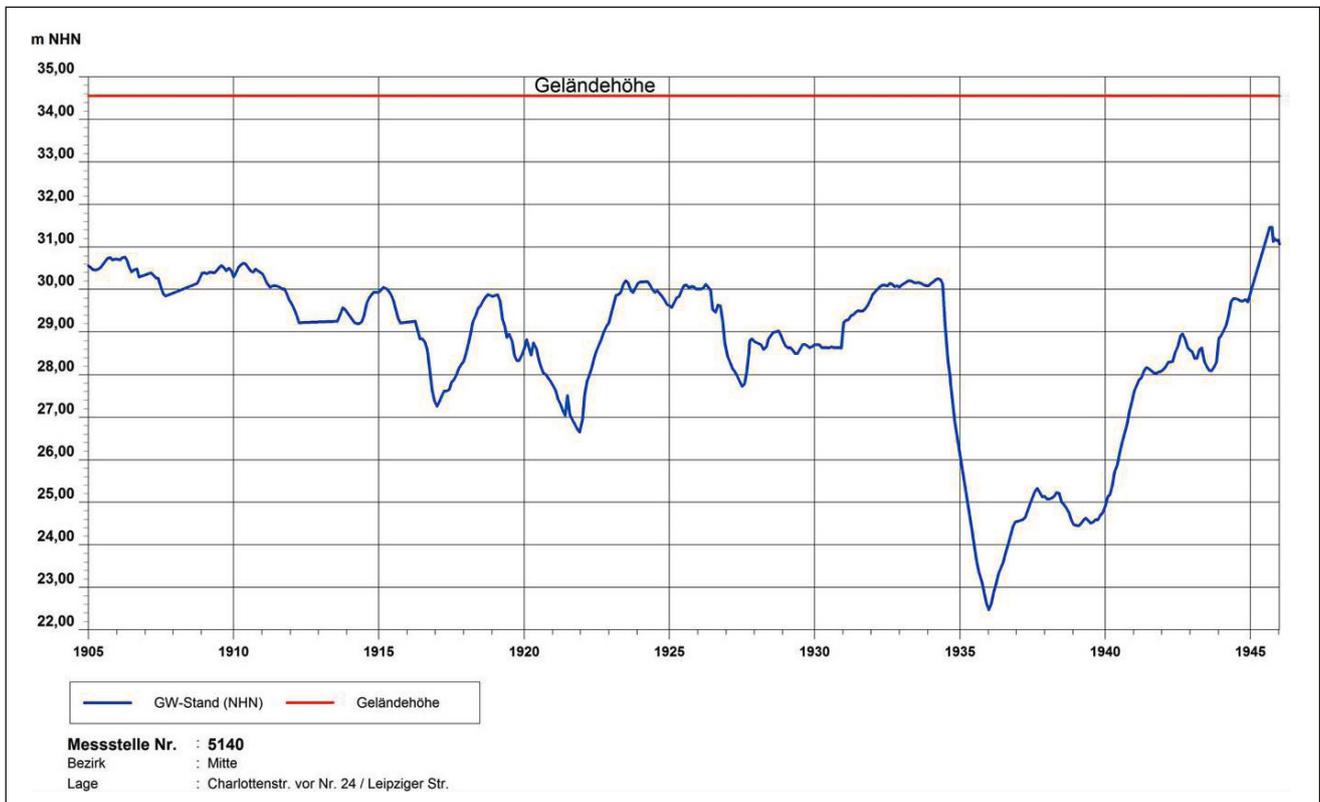


Abb. 8: Grundwasserstandsganglinie der Messstelle 5140 in Berlin Mitte mit Messungen von 1905 bis 1945

Fig. 8: Hydrograph of the observation well 5140 in the borough of Berlin Mitte with measurements from 1905 to 1945

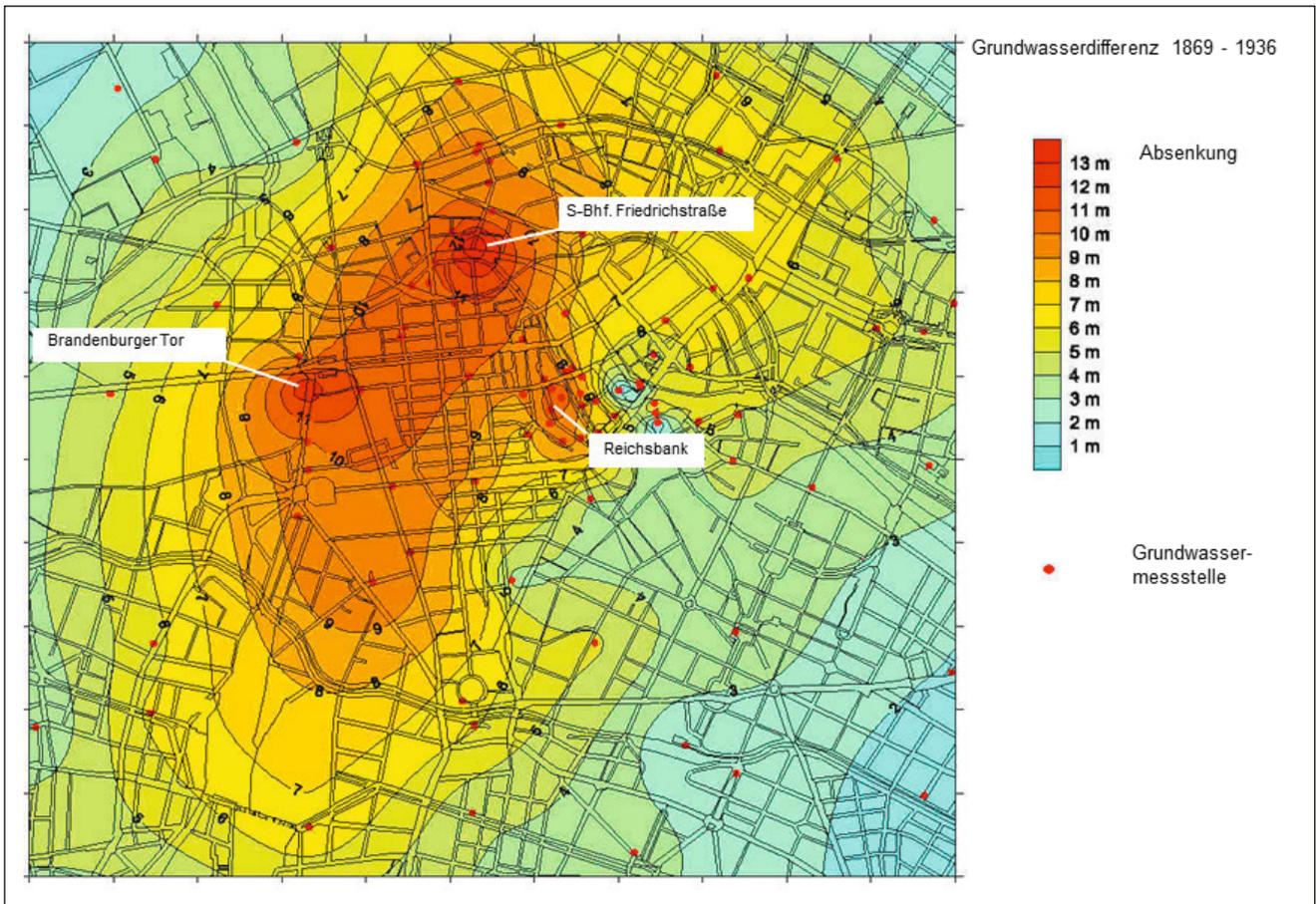


Abb. 9: Grundwasserdifferenzenplan 1869–1936 der Berliner Innenstadt mit den stärksten Absenkungen beim Bau für die Linie S 1 vor dem Brandenburger Tor und dem S-Bahnhof Friedrichstraße sowie für die tiefen Tresorkeller der Reichsbank

Fig. 9: Map of the differences of the groundwater level 1869–1936 of the inner city of Berlin with the highest drawdown at the construction for the train line S 1 at the “Brandenburg Gate” and at the train station “Friedrichstraße” as well as for the vault in the basement of the “Bank of Germany” (“Reichsbank”)

erwähnt, die Einwirkungen der Grundwasserabsenkungen auf Bauwerke (Sackungs- und Setzungserscheinungen bei Gebäuden und Straßenzügen, Rißbildungen usw.) in der Tagespresse erörtert.“

### 3.3 Wiederaufbau und Wirtschaftswunderjahre 1945–1989

Beim kompletten Zusammenbruch der Infrastruktur am Ende des zweiten Weltkrieges stieg das Grundwasser 1945 sofort bis fast auf die ursprünglichen Verhältnisse an. Während der Wiederaufbaujahre wurde es dann immer wieder abgesenkt (Abb. 10).

In den Wirtschaftswunderjahren erhöhte sich der Wasserverbrauch der Millionenmetropole Berlin kontinuierlich. Waren es 1960 noch 216 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr, stieg die Förderung der Berliner Wasserbetriebe im gesamten Stadtgebiet bis 1989 auf 378 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr an (Abb. 11).

Da nahezu alle Wasserwerke innerhalb des Stadtgebietes liegen, waren die Auswirkungen in Berlin so drastisch, dass

es zusammen mit weiteren langanhaltenden Grundwasserhaltungen für neue U-Bahnbaumaßnahmen zu stadtweit sinkenden Grundwasserständen kam. Infolge dessen fielen Feuchtgebiete trocken und es kam an einigen Stellen zu Gebäudeschäden: Die fast zehnjährige Grundwasserabsenkung für den Bau der U-Bahnlinie U 7 erzeugte im „nassen Dreieck“, einer vermoorten Rinne in Charlottenburg, so starke Setzungen, dass zahlreiche Gebäude abgerissen werden mussten (Abb. 12).

### 3.4 Wiederanstieg des Grundwassers nach 1989

Gleich nach der politischen Wende stieg das Grundwasser in wenigen Jahren stadtweit wieder an und verblieb dann auf einem hohen Niveau (Abb. 13).

Nach 1989 verringerte sich die Rohwasserentnahme der Berliner Wasserbetriebe infolge des rückläufigen Trink- und Brauchwasserbedarfs drastisch (Abb. 14). Einige kleinere Wasserwerke stellten ihre Förderung deshalb ganz ein, und zahlreiche in Konkurs gegangene Kleinbetriebe

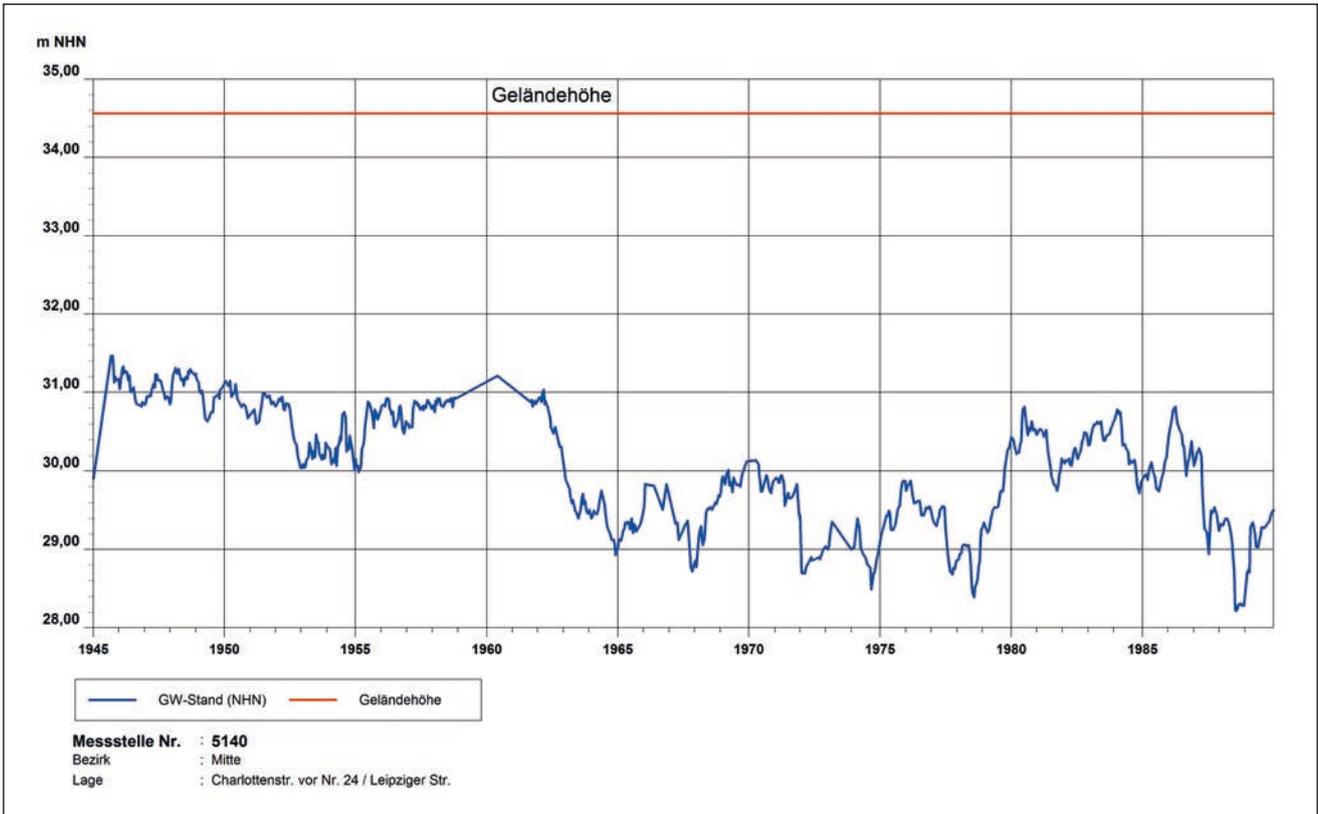


Abb. 10: Grundwasserstandsganglinie der Messstelle 5140 in Berlin Mitte mit Messungen von 1945 bis 1989  
 Fig. 10: Hydrograph of the observation well 5140 in the borough of Berlin Mitte with measurements from 1945 to 1989

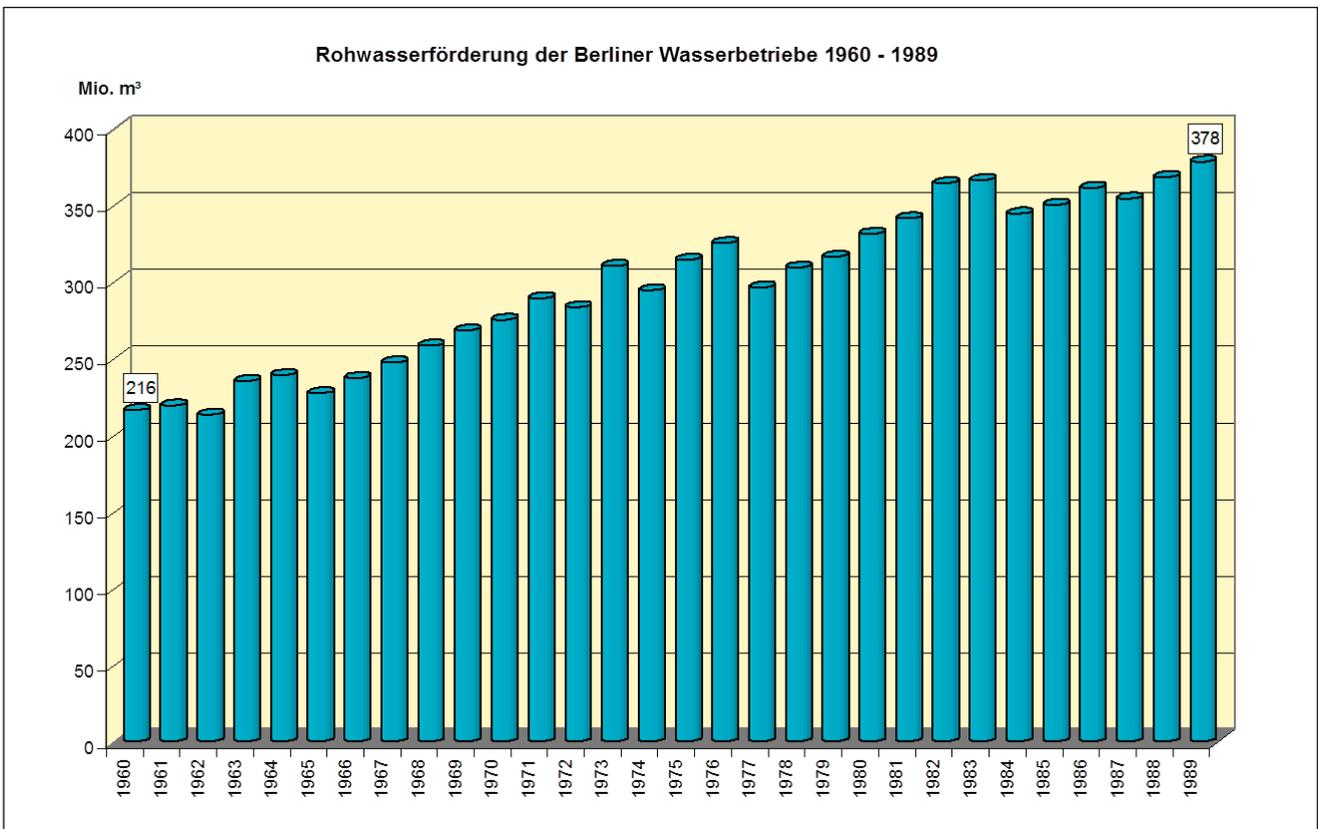


Abb. 11: Steigerung der Rohwasserförderung der Berliner Wasserbetriebe von 1961 bis 1989  
 Fig. 11: Increase in raw water discharge of the Berlin waterworks from 1961 to 1989



Abb. 12: Gebäudesetzungen infolge jahrelanger Grundwasserhaltung im „nassen Dreieck“ in Charlottenburg (Foto: DeGeBo)

Fig. 12: Subsidence of buildings as a consequence of years of groundwater drainage at the “wet triangle” in the borough of Berlin Charlottenburg (Picture: DeGeBo)

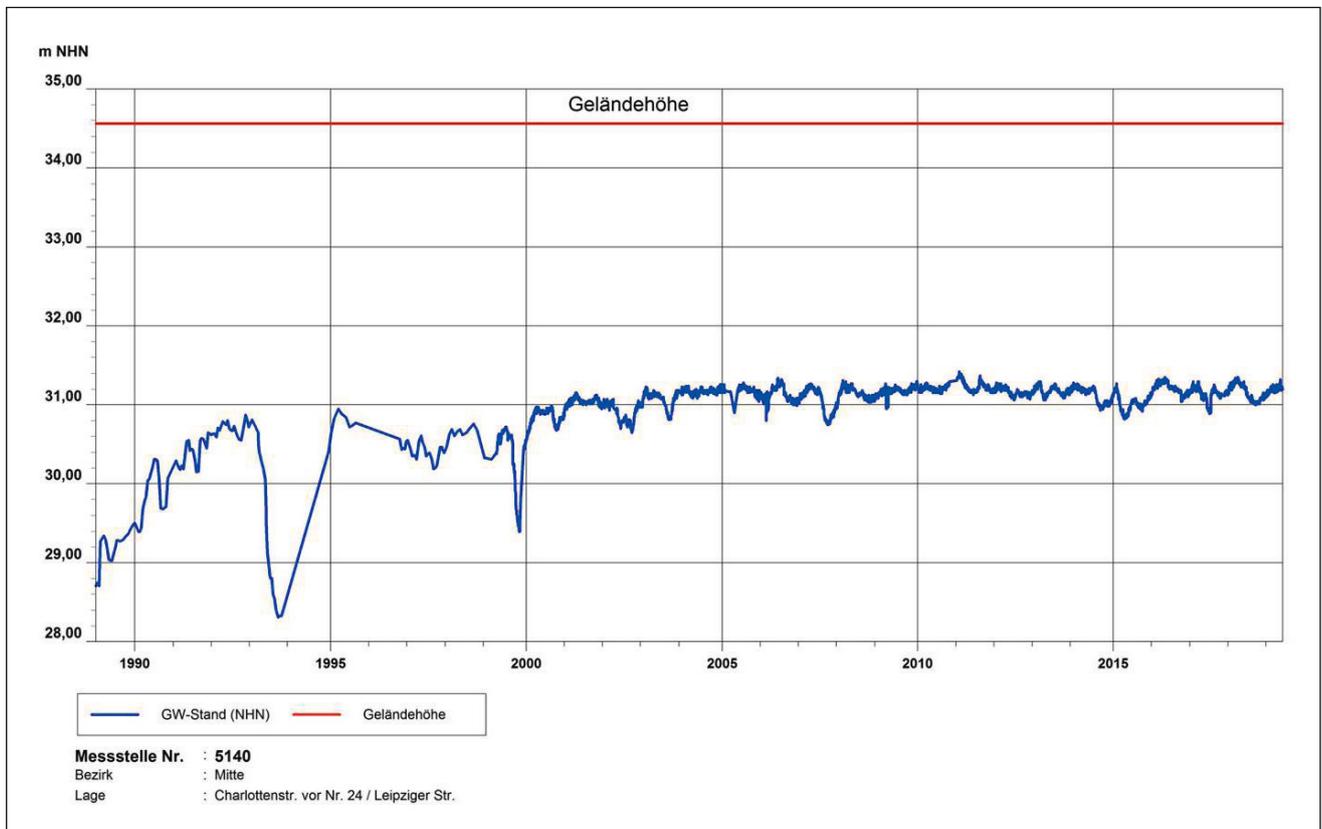


Abb. 13: Grundwasserstandsganglinie der Messstelle 5140 in Berlin Mitte mit Messungen von 1989 bis 2019

Fig. 13: Hydrograph of the observation well 5140 in the borough of Berlin Mitte with measurements from 1945 to 1989

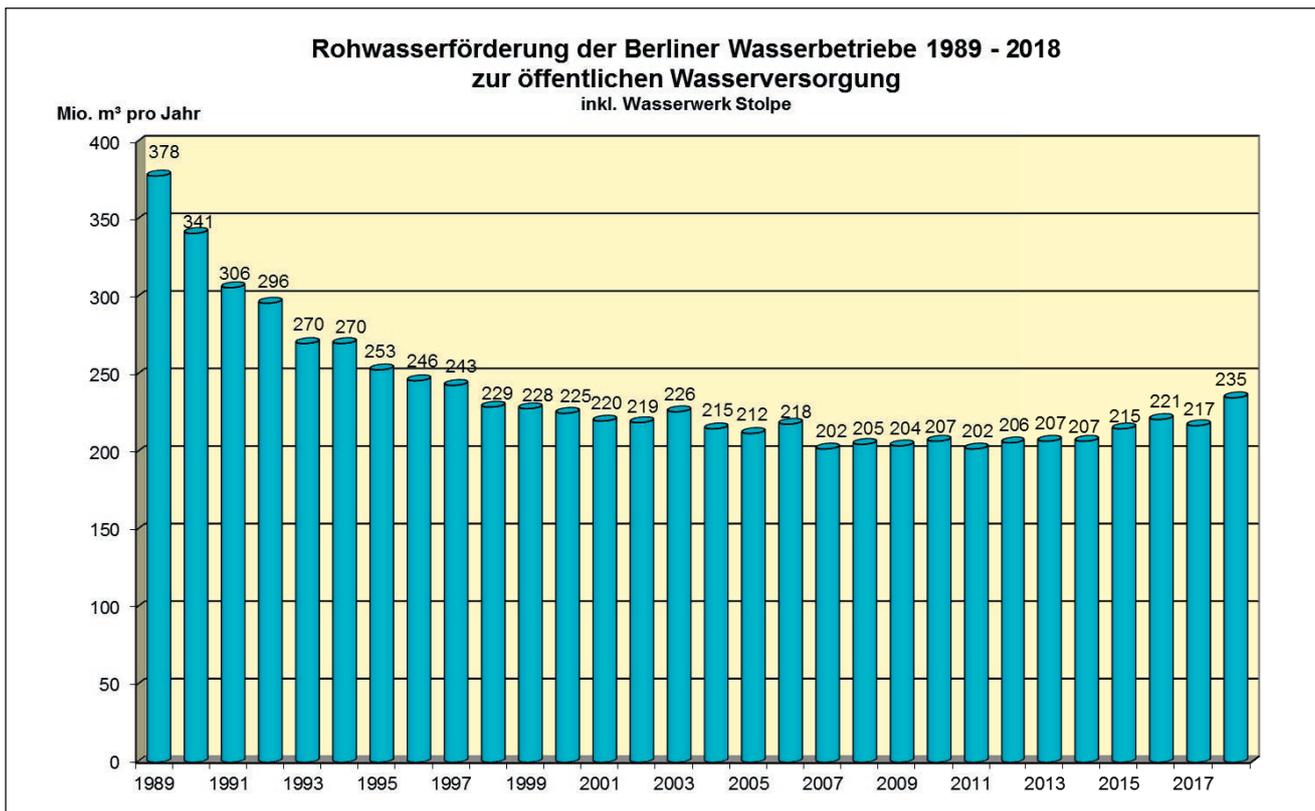


Abb. 14: Entwicklung der Rohwasserförderung der Berliner Wasserbetriebe in den letzten 30 Jahren  
Fig. 14: Development of the raw water discharge of the Berlin waterworks in the last 30 years

sowie private Nutzer legten ihre Brunnen still. Die Folge war in den ersten zehn Jahren nach 1989 ein sehr schneller und danach lang anhaltender stetiger Grundwasserwiederanstieg.

Da sich im Urstromtal die meisten Wasserwerke befinden, gab es hier Mitte der 1990er Jahre großflächige Wiederanstiege, die über einen halben Meter, in der Nähe der Wasserwerke stellenweise mehrere Meter betragen (Abb. 15) (LIMBERG et al. 2007: S. 76 ff).

#### 4 Grundwassermanagement

Grundwasser ist das Lebenselixier der Stadt Berlin. Als einzige Millionenmetropole Deutschlands gewinnt sie ihr Trinkwasser zu 100 % aus dem Grundwasser **und** das fast vollständig aus dem eigenen Stadtgebiet mit Ausnahme des Wasserwerks Stolpe. Im Jahr 2018 waren es 235 Mio. m<sup>3</sup>. Diesen Schatz gilt es zu bewahren und zu schützen.

##### 4.1 Die ersten Anfänge

Die ersten Grundwasserprobleme wurden schon Mitte des vorletzten Jahrhunderts beschrieben. So berichtete BRESSLER (1854): „Sehr viele Kellerwohnungen der Hauptstadt Preussens werden im Frühjahr und Herbst, bei hohem Wasserstand, von der Nässe sehr mitgenommen. Die in der Nähe

der Spree, sowie auf dem südlichen Theile der Friedrichsstadt und in einigen anderen Gegenden gelegenen, müssen sogar manches Jahr von ihren Bewohnern auf einige Tage geräumt und förmlich ausgeschöpft werden. Im Jahre 1830 waren die meisten total überschwemmt.“

Das fand seinen Niederschlag in der Bau-Polizeiordnung vom 21. April 1853, dass „eine Ausschachtung der Keller zu Wohnräumen nur noch bis zu einer Tiefe von mindestens 1 Fuss über dem höchsten Wasserstand der Spree“ zulässig sei. Der Berliner Baurat HOBRECHT (1872) korrigiert später: „1 Fuss über dem höchsten Grundwasserstand.“ Damit war der Begriff des „höchsten Grundwasserstandes“ etabliert.

##### 4.2 Grundwassermanagement vor 1989

Um dem sinkenden Grundwassertrend durch die immer weiter steigende Rohwasserförderung der Wasserbetriebe und der Grundwasserhaltungen bei großen Baumaßnahmen seit den 1960er Jahren entgegenzuwirken, wurden seitens des Westberliner Senats in den 1980er Jahren drei Gegenmaßnahmen beschlossen:

- Erhöhung der künstlichen Grundwasseranreicherung auf bis zu 50 Mio. m<sup>3</sup>/Jahr (Abb. 16)
- Wiedereinleitpflicht bei großen Baumaßnahmen und
- Einführung des Grundwasserentnahmeentgeltes (heute 0,31 €/m<sup>3</sup>)

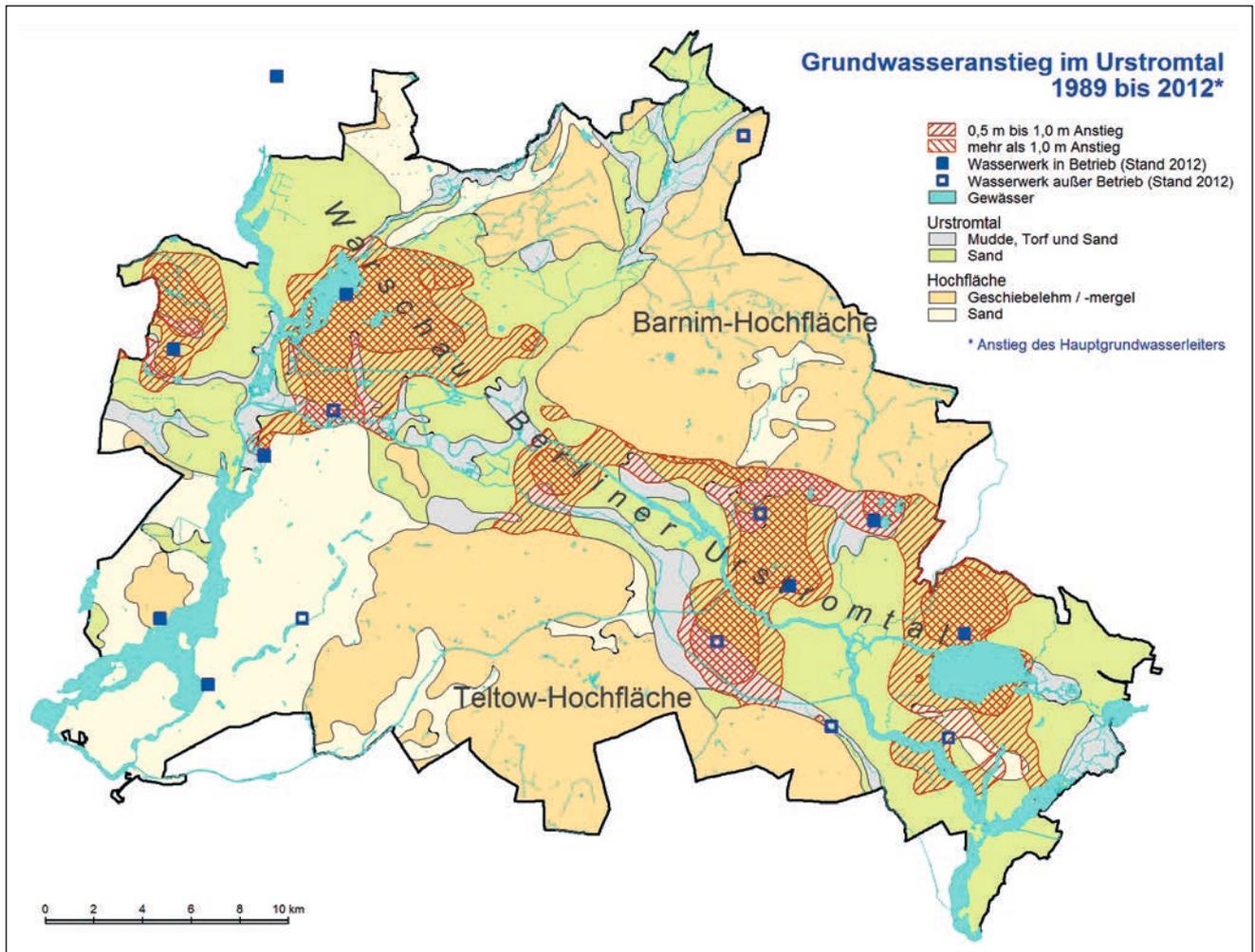


Abb. 15: Grundwasserwiederanstieg von 1989 bis 2012 im Urstromtal

Fig. 15: Rise of the groundwater level from 1989 to 2012 in the glacial valley ("Urstromtal")



Abb. 16:  
Verstärkte künstliche Grundwasseranreicherung der Berliner Wasserbetriebe mit aufbereitetem Havelwasser mit Drehsprengern auf Sickerbecken, hier auf dem Gelände des Wasserwerkes Spandau (1984)  
(Foto: ALEXANDER LIMBERG)

Fig. 16:  
Enhanced artificial groundwater recharge of the Berlin waterworks with treated surface water from the river Havel with rotary sprinklers on a seepage basin; here at the waterwork in Spandau (1984)  
(Picture: ALEXANDER LIMBERG)

Gleichzeitig fruchteten die Appelle an die Industrie: Viele Haushaltsgeräte (Waschmaschinen, Geschirrspüler, Toilettenspülungen) verbrauchten nun deutlich weniger Wasser. Alle diese Maßnahmen zusammen führten gegen Ende der 1980er Jahre in den westlichen Bezirken wieder zu einem positiven Grundwassertrend.

### 4.3 Grundwassermanagement nach 1989

#### Hauptstadtumbau

Für den Hauptstadtumbau nach der deutschen Einheit wurden im zentralen Bereich Berlins in relativ kurzer Zeit fast gleichzeitig zahlreiche Großbaumaßnahmen für Regierungsbauten, für unterirdische Bahnstrecken und für kommerzielle Gebäudekomplexe geplant. Fast alle Bauwerke wurden mit mehreren Tiefgeschossen bis zu 20 m tief gegründet und banden damit bis zu 17 m in das Grundwasser ein. Bei herkömmlicher Wasserhaltung hätte man ebenso große und tiefe Absenktichter wie schon in den 1930er Jahren erzeugt und dabei die Jahresförderung der Wasserbetriebe übertroffen. Um die Altbauten, die im Innenstadtbereich wegen des schlechten Baugrundes vielfach auf Holzpfählen errichtet sind, und um den jungen Baumbestand im Tiergarten zu schützen, wurde verfügt, dass

alle Neubauten in grundwasserschonender Bauweise zu errichten sind. Die meisten tief gegründeten Bauwerke wurden daher im Trogbauverfahren hergestellt, wie z. B. am Potsdamer Platz. Zunächst wurde um das Baufeld eine Schlitzwand erstellt und anschließend das Erdreich mit Schwimmbaggern ausgehoben (Abb. 17). Im entstandenen Grundwassersee gossen Taucher dann in 20 Metern Tiefe eine Unterwasserbetonsohle, die gegen den Auftrieb (17 m Wassersäule) mit 20 m langen Erdankern gesichert werden musste.

Anschließend musste nur noch das im Trog befindliche Grundwasser abgepumpt werden und nicht die immensen Mengen, wie bei einer herkömmlichen Grundwasserhaltung (Abb. 18).

#### Kellerwasserprobleme

Da man schon seit Anfang des letzten Jahrhunderts Bauwerke gegen Grundwasser abdichten kann, ist die Bauordnung für Berlin (BauO Bln) in der Zwischenzeit entsprechend angepasst worden. Im § 13 „Schutz gegen schädliche Einflüsse“ wird deshalb gefordert: „*Bauliche Anlagen müssen so angeordnet, beschaffen und gebrauchstauglich sein, dass durch Wasser, Feuchtigkeit, .... Gefahren oder unzumutbare Belästigungen nicht entstehen.*“



Abb. 17: Aushub des Erdreiches in der Trogbaugrube am Potsdamer Platz mit Blick vom Weinhaus Huth (Foto: ALEXANDER LIMBERG)

Fig. 17: Excavation of the ground soil in the trough excavation pit at "Potsdamer Platz" with the view from "Weinhaus Huth" (Picture: ALEXANDER LIMBERG)



Abb. 18: Fertiger Trog nach Abpumpen des Grundwassers (Foto: ALEXANDER LIMBERG)

Fig. 18: Finished trough after pumping of the groundwater (Picture: ALEXANDER LIMBERG)

In den Gebieten mit hohen Grundwasserwiederanstiegen (Abb. 15) kam es nach 1989 bei Gebäuden, deren Keller nicht fachgerecht abgedichtet waren, zu teils erheblichen Bauschäden wie schon 150 Jahre zuvor (Abb. 19).

Weitgehend alle Kellerwasserschäden sind auf Nichtbeachtung der hydrogeologischen Situation, insbesondere des höchsten unbeeinflussten Grundwasserstandes (HGW/zeHGW), zurückzuführen und liegen damit in der Verantwortung des Bauherrn/der Bauherrin. In einzelnen Gebieten, in denen gehäuft Kellerwasserschäden auftreten, hilft der Senat den Betroffenen in Form von Hilfe zur Selbsthilfe (RUNDER TISCH GRUNDWASSER).

#### 4.4 Von der schriftlichen Grundwasserauskunft zur modellgestützten Online-Information

Um standsichere Bauwerke errichten zu können und Bauschäden durch Grundwasser zu vermeiden, ist es unbedingt erforderlich, die Untergrundbedingungen und die hydrogeologischen Verhältnisse gut zu kennen. Hierzu müssen qualifizierte Informationen zum Baugrund und Grundwasser eingeholt und entsprechend berücksichtigt werden.

Da insbesondere der Grundwasserstand in Berlin vielerorts und zu unterschiedlichen Zeiten hochgradig anthropogen beeinflusst ist und war, ist es für einzelne Ingenieurbüros mitunter sehr schwierig, die richtigen Ordinatenwerte zu be-

rechnen. Deshalb erteilte die Arbeitsgruppe Landesgeologie des Senates mit ihrem umfangreichen Erfahrungswissen seit über 60 Jahren detaillierte und verlässliche Auskünfte zum Baugrund, zum aktuellen Grundwasserstand und insbesondere zum unbeeinflussten höchsten gemessenen Grundwasserstand (HGW). Seit 2009 wird als Extremwert der mit einem numerischen Modell ermittelte höchste zu erwartenden Grundwasserstand (zeHGW) zugrunde gelegt (LIMBERG et al. 2010). Zunächst wurden die Flächen des Urstromtales und des Panketales modelliert und 2015 im Internet veröffentlicht (LIMBERG et al. 2015). Mittels Adresssuche kann man für das gewünschte Planungsgebiet den zeHGW Dezimeter genau in m über NHN erhalten. In einer umfangreichen Erläuterung werden Problemstellung, Methode und Karte beschrieben (ZU ERWARTENDER HÖCHSTER GRUNDWASSERSTAND (ZEHGW), UMWELTATLAS). Im vergangenen Jahr kamen die Flächen der Teltow-Hochfläche und der Nauener Platte hinzu und in diesem Jahr wird mit der Barnim-Hochfläche dann für die gesamte Berliner Landesfläche ein zeHGW berechnet sein. Der zeHGW ist damit sofort gebührenfrei im Internet verfügbar. Die Landesgeologie gibt darüber hinaus jährlich eine aktuelle Grundwassergleichenkarte (Stand Mai) heraus (Abb. 20). Dargestellt werden die verwendeten Grundwassermessstellen und die Oberflächenwasserpegel; die Äquidistanzen der Grundwassergleichen betragen 0,5 m. Die Datengrundlage, die Wasserwerksförderung, die Niederschlagsentwicklung, der Jahresgang ausgewählter Messstellen etc. werden aus-



Abb. 19:  
Schäden durch  
wiederangestiegenes  
Grundwasser in einer  
Tiefgarage  
(Foto: ALEXANDER LIMBERG)

Fig. 19:  
Damage as a result of  
re-increased groundwater  
in a basement garage  
(Picture: ALEXANDER LIMBERG)

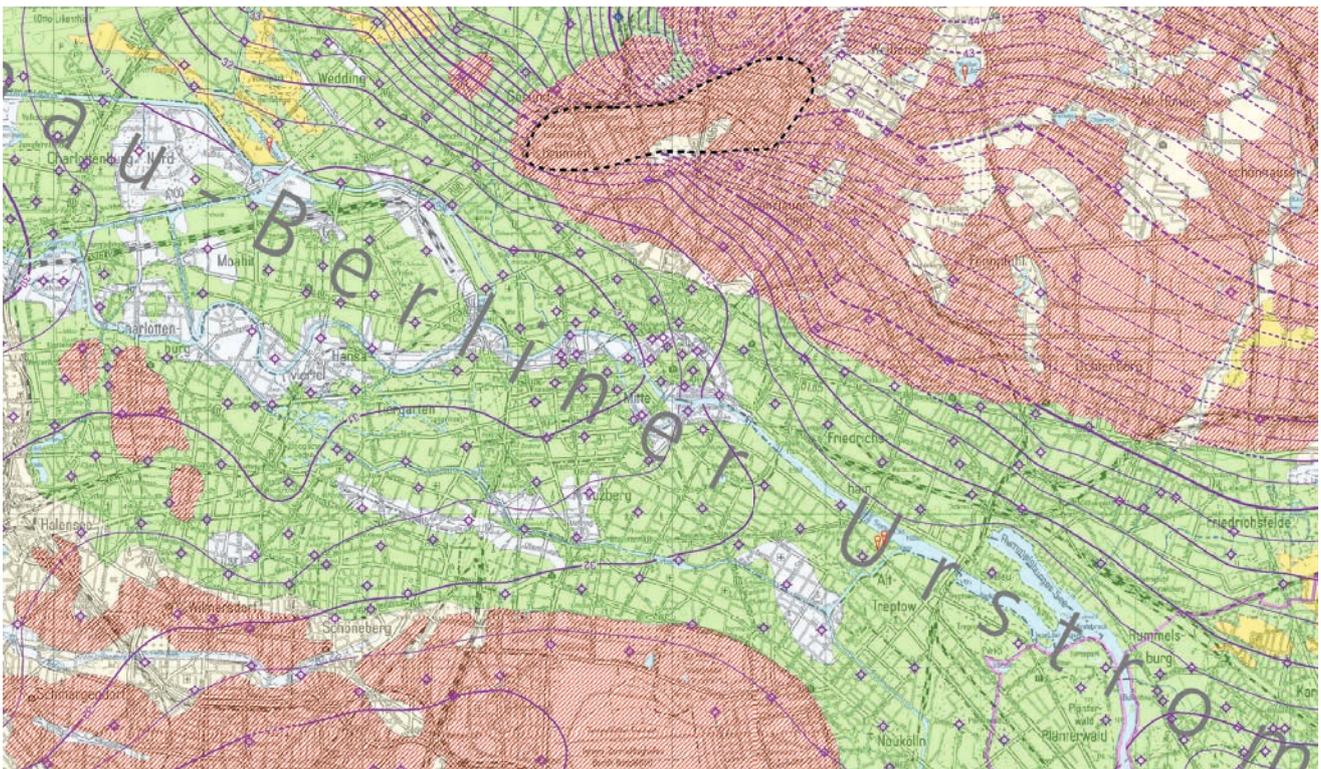


Abb. 20: Ausschnitt aus der Grundwassergleichenkarte vom Mai 2018  
Fig. 20: Extract of the groundwater level map of May 2018

fürlich in den dazugehörigen Erläuterungen beschrieben und im Umweltatlas im Internet veröffentlicht (GRUNDWASSERHÖHEN, UMWELTATLAS). Ebenso ist die Karte des Grundwasserflurabstandes verfügbar (FLURABSTAND DES GRUNDWASSERS, UMWELTATLAS).

Tagesaktuelle Grundwasserstandswerte für ausgewählte Messstellen können im FIS Broker abgerufen werden (TAGESAKTUELLER GRUNDWASSERSTAND, FIS-BROKER).

## Zusammenfassung

Vor 150 Jahren erstellte der Berliner Baurat Hobrecht in Berlin das erste Grundwassermessnetz mit 30 „Grundwasserstandsrohren“. An diesen Grundwassermessstellen sind die längsten ununterbrochenen Messreihen Deutschlands erhoben worden, welche die Grundlage für ein fundiertes Grundwassermanagement bilden.

Der Baurat Denner wies schon Mitte der 1930er Jahre auf Schäden hin, die hohe Grundwasserentnahmen für große Baumaßnahmen mit bedenklich großen Absenkungen in der Innenstadt erzeugten.

Der nach 1945 ständig wachsende Trink- und Brauchwasserbedarf von Berlin in den Wirtschaftswunderjahren mit einer entsprechenden stärkeren Rohwasserförderung der Wasserwerke bis Ende der 1980er Jahre konnte in den letzten Jahren nur noch durch eine verstärkte künstliche Grundwasseranreicherung in den westlichen Bezirken Berlins ausgeglichen werden. Nach 1989 gab es dagegen einen raschen Rückgang des Bedarfs verbunden mit einer entsprechenden Verringerung der Wasserwerksförderung. Daraus folgten Grundwasserwiederanstiege in weiten Teilen des Warschauer Berliner Urstromtales, die bei nicht fachgerecht ausgebauten Kellern ab Mitte der 1990er Jahre zu erheblichen Schäden führten, wie auch schon anderthalb Jahrhunderte zuvor. Um einerseits das Grundwasser als Ressource zu erkunden, es aber auch zu schützen und andererseits die Gefahren durch das Grundwasser z. B. beim Bauen zu erkennen, wurden für ein effektives Grundwassermanagement von der Landesgeologie Berlin alle relevanten Grundwasserleiter bis in Tiefen von 300 m sukzessive mit Messstellen ausgebaut, gezielt verfiltert und mit täglich aufzeichnenden Datenloggern versehen.

Auf Grundlage dieser Daten und der langen Messreihen konnte ein modernes Auskunftssystem und ein umfangreiches hydrogeologisches Kartenwerk aufgebaut werden. Weiterhin ermöglichen diese Daten auch die Erstellung von Grundwasserströmungsmodellen.

## Summary

150 years ago, governmental building officer Hobrecht was creating the first groundwater monitoring network with 30 “groundwater level pipes”. Germany's longest continuous series of measurements have been collected at these groundwater observation wells, which form the basis for a profound groundwater management.

As early as the mid-1930s, the governmental building officer Denner pointed out the damage caused by high groundwater withdrawals for major construction projects with alarmingly large subsidence in the city center.

The, after 1945, ever growing needs of Berlin for drinking and industrial water in the economic miracle years with a corresponding stronger raw water production of the waterworks up to the end of the 1980er years could be compensated in recent years only by an increased artificial groundwater recharge in the western districts of Berlin. However, after 1989, there was a rapid decrease in demand coupled with a corresponding reduction of the pumping in the waterworks. This resulted in a rise of the groundwater level in large parts of the Warsaw-Berlin glacial valley, which led to significant damage in non-professional sealed basements from the mid-1990s on just as one and a half centuries earlier.

In order to explore and to protect the groundwater as a resource on the one hand and to understand the dangers of groundwater e.g. in construction on the other hand, the state geology workgroup was building observation wells and setting the filters in all relevant aquifers up to a depth of 300 m. Most wells are equipped with data loggers that measure the groundwater level in a daily frequency for an effective groundwater management.

Based on this data and the long series of measurements, a modern information system and an extensive series of hydrogeological maps could be set up. Furthermore, these data also allow the creation of groundwater flow models.

## Literatur

BRESSLER (1854): Die Kellerwohnungen und ihre Bewohner in sanitätspolizeilicher Beziehung. – Vierteljahrsschrift für gerichtliche und öffentliche Medizin 6,2, S. 294–313

DENNER, J. (1937): Der Grundwasserstand in Berlin. Grundwasserstandsmessungen von 1870 bis 1936 und ihre Bedeutung für Wasserwirtschaft und Wasserrecht. – Zentralblatt der Bauverwaltung 57, S. 243–251; Berlin

HOBRECHT, J. (1871): Bericht über die Grundwasser-Verhältnisse in Berlin [16.1.1871]. – In: Reinigung und Entwässerung Berlins. Einleitende Verhandlungen und Berichte..., Heft 5, S. 237–262, 15 Blatt Zeichnungen und 18 Tabellen, Berlin (Hirschwald)

HOBRECHT, J. (1872): Welche besondere gesetzliche Bestimmungen hat die öffentliche Gesundheitspflege von den Baupolizeiordnungen größerer Städte zu fordern [Referat]. – Deutsche Vierteljahrsschrift für öffentliche Gesundheitspflege 4, S. 596–599, Berlin (Hirschwald)

EMMERLING-SKALA, A. (2012): Hygiene – Hydrologie – Wasserrecht: Geschichte der Grundwasserstandsbeobachtung von 1856 bis zum Beginn der Landesgrundwasserdienste, Schriften der Deutschen Wasserhistorischen Gesellschaft (DWhG) e.V., Sonderband 7

- LIMBERG, A. & J. THIERBACH (2002): Hydrostratigrafie von Berlin – Korrelation mit dem Norddeutschen Gliederungsschema. – Brandenburgische Geowiss. Beitr., **9**, 1/2, S. 65–68
- LIMBERG, A., DARKOW, P., FAENSEN-THIEBES, A., FRITZ-TAUTE, B., GÜNTHER, M., HÄHNEL, K., HÖRMANN, U., JAHN, D., KÖHLER, A. KRÜGER, E., MAY, S., NAUMANN, J. & M. WAGNER (2007): Grundwasser in Berlin, Vorkommen·Nutzung·Schutz·Gefährdung. – Berlin (Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz)
- LIMBERG, A., HÖRMANN, U. & H. VERLEGER (2010): Modellentwicklung zur Berechnung des höchsten Grundwasserstandes in Berlin. – Brandenburgische Geowiss. Beitr., **17**, 1/2, S. 23–37
- LIMBERG, A., HÖRMANN, U. & H. VERLEGER (2015): Berlins Grundwasserauskünfte jetzt auch online. – Nachrichten für die im Bauwesen tätigen Ingenieure, **3**
- LIMBERG, A., JONAS, O & A. KOLBERG (2016): Detektion möglicher Fehlstellen im Rupelton durch Messung der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit in tiefen Grundwassermessstellen im Land Berlin. – Brandenburgische Geowiss. Beitr., **23**, 1/2, S. 11–15
- MANHENKE, V (2002): Hydrostratigrafische Gliederung der känozoischen Lockergesteine von Brandenburg. – Brandenburgische Geowiss. Beitr., **9**, 1/2, S. 59–54
- MARTIN, A. (red.) (1857): Haupt-Bericht über die Cholera-Epidemie des Jahres 1854 im Königreiche Bayern erstattet von der kgl. Commission für naturwissenschaftliche Untersuchungen über die indische Cholera. – 914 S., München (Cotta)
- PETTENKOFER, M. (1857): Ueberblick über die gesammte örtliche Ausbreitung der Cholera im Königreiche Bayern, nebst weiteren Forschungen und Betrachtungen über die Ursachen der örtlichen Begränzung der Krankheit. – In: MARTIN: Haupt-Bericht... 1857. – S. 298–378, München
- VIRCHOW, R. (1863): Ueber die Canalisation von Berlin. Gutachten der wissenschaftlichen Deputation für das Medicinalwesen. – 58 S., Berlin (Hirschwald)
- VIRCHOW, R. (1873): Reinigung und Entwässerung Berlins. Generalbericht über die Arbeiten der städtischen gemischten Deputation für die Untersuchung der auf die Kanalisation und Abfuhr bezüglichen Fragen. – 182 S., Berlin (Hirschwald)
- FLURABSTAND DES GRUNDWASSERS, UMWELTATLAS: [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dinh\\_02.htm](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dinh_02.htm) (aufgerufen am 8.5.2019)
- GRUNDWASSERHÖHEN, UMWELTATLAS: <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/it212.htm> (aufgerufen am 8.5.2019)
- RUNDER TISCH GRUNDWASSER: <https://www.berlin.de/senuvk/umwelt/wasser/grundwasser/de/rundertisch/rtgw.shtml> (aufgerufen am 8.5.2019)
- TAGESAKTUELLER GRUNDWASSERSTAND, FIS-BROKER: <https://www.stadtentwicklung.berlin.de/geoinformation/fis-broker/> (aufgerufen am 8.5.2019)
- ZUERWARTENDER HÖCHSTER GRUNDWASSERSTAND (ZEHWG), UMWELTATLAS: <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/i219.htm> (aufgerufen am 8.5.2019)

**Anschrift des Autors:**

Alexander Limberg  
Heidenheimer Straße 4  
13467 Berlin

Brandenburg. geowiss. Beitr.	Cottbus	26 (2019), 1/2	S. 61–105	5 Abb., 6 Tab., 10 Taf., 118 Zit., 3 Einbl. (5 S.)
------------------------------	---------	----------------	-----------	-------------------------------------------------------

# Neue Ergebnisse mikropaläontologischer Untersuchungen (Foraminiferen) aus Kernstrecken der mittleren Kreide (Alb bis Coniac) Südost- und Nord-Brandenburgs: Biostratigraphie, fazielle und regionalgeologische Interpretation

**New micropalaeontological results (foraminifera) from middle Cretaceous (Albian to Coniacian)  
drilling cores of southeast and north Brandenburg: biostratigraphy, facies, and regional  
geological interpretation**

OLAF ELICKI & MICHAEL GÖTHEL

Unserem verehrten Lehrer und Kollegen, Prof. Dr. habil. Karl-Armin Tröger (†) gewidmet.

## 1 Einleitung

Die reflexionsseismischen Horizonte B1, B2, B3, T2 (GÖTHEL 2018a, RAPPSILBER et al. 2019) sind bisher im reflexionsseismischen Kartenwerk zu einem Isolinienniveau zusammengefasst worden (REINHARDT, H.-G. & GRUPPE REGIONALES KARTENWERK 1968–1991). Sie gehören jedoch in unterschiedliche stratigraphische Niveaus vom Turon bis zur Alb/Cenoman-Transgressionsbasis und daher in z. T. erheblich unterschiedliche Tiefenniveaus gleichen Ortes. Bei geologischen Modellierungen für bergrechtliche Verfahren ist es notwendig, diese Horizonte zu differenzieren, um sie detaillierter stratigraphisch zuordnen zu können. Die mikropaläontologisch-faziellen Untersuchungen von Proben aus karbonatisch-pelitischen Kernstrecken und deren stratigraphische Zuordnung in Zonen planktonischer Foraminiferen und benthonischer Foraminiferen-Gesellschaften sollen zur Klärung der detaillierten stratigraphischen Position im Raum Nord-Brandenburg und in den untersuchten Bohrungen zur Klärung der exakten Tiefenlage dieser reflexionsseismischen Horizonte beitragen.

Die Untersuchungen an den Proben der Prätertiärbohrungen der Braunkohlenerkundungsobjekte Cottbus-Nord und Jänschwalde wurden für eine detaillierte stratigraphische Zuordnung der präkänozoischen Oberfläche durchgeführt. Erst diese ermöglicht unter Berücksichtigung ihres Tiefenniveaus eine Beurteilung des Verlaufes bruchtektonischer Störungen in der Nordost-Lausitz, die zur Planung hydrologischer Modellierungen im Braunkohlenbergbau notwendig sind.

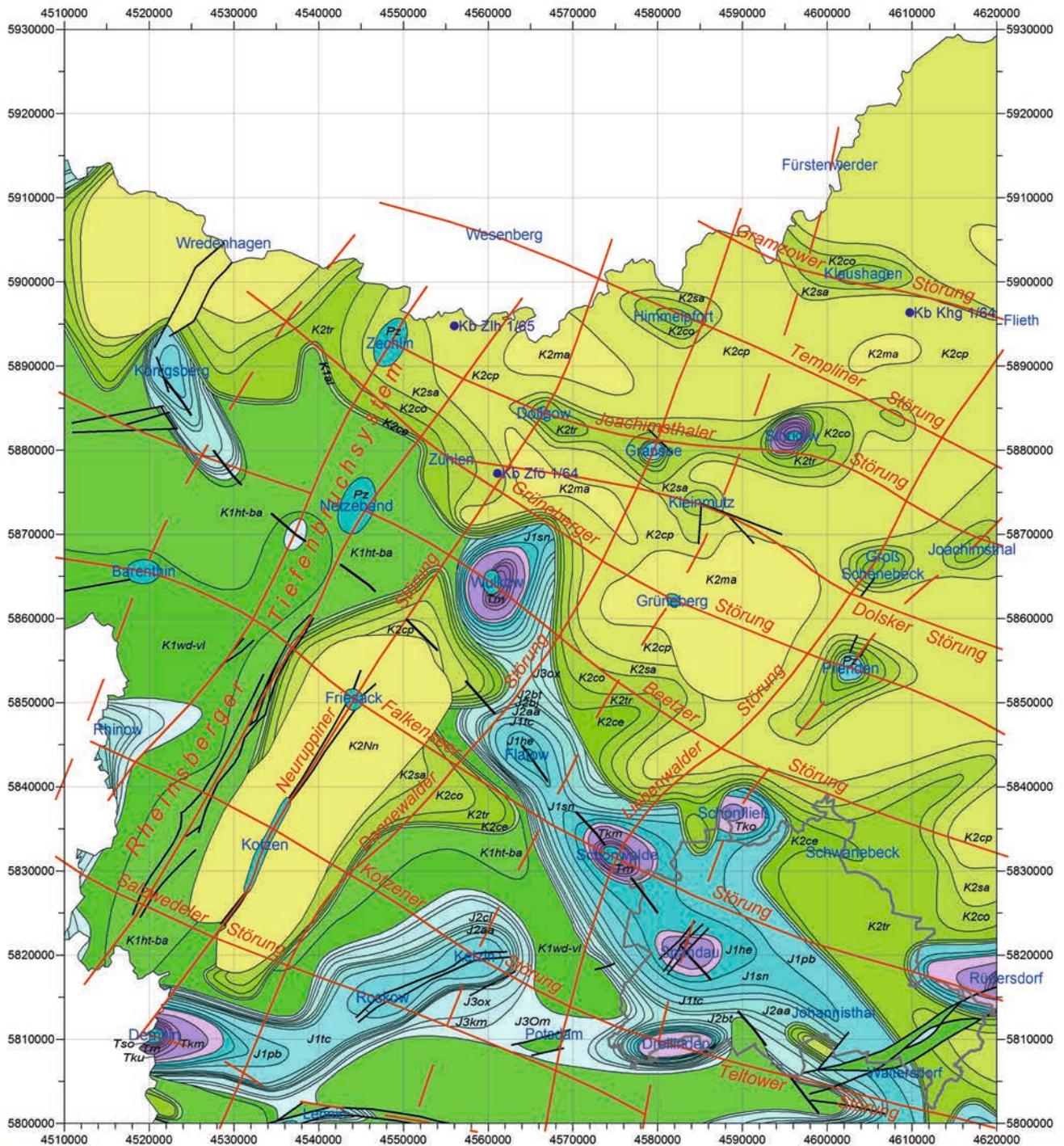
## 2 Material und Methodik

Im Rahmen dieser Arbeit wurde Probenmaterial aus Kernstrecken von acht Kernbohrungen aus Südost- und Nord-Brandenburg mikropaläontologisch und faziell bearbeitet. Kernbemusterung und Probenahme erfolgten im Bohrkern- und Probenarchiv des LBGR Brandenburg, Wünsdorf. Die Auswahl der Beprobungsbereiche orientierte sich an makrofaziellen, sedimentären Charakteristika sowie Sedimentmächtigkeiten. Im Einzelnen handelt es sich um die Bohrungen: Jänschwalde Brk Jäw 11507/2006, Brk Jäw 13906/2014, Brk Jäw 14799/2011, Brk Jäw 14800/2011, Brk Jäw 14810/2011, Brk Jäw 16301/2016 (Lage siehe Einbl. I, Abb. 1) sowie Klaushagen Kb Khg 1/64 und Zechlinerhütte Kb Zlh 1/65 (Lage siehe Abb. 2). Informationen zur Positionierung der Proben in den jeweiligen Kernmärschen sind in den Tab. 1 und 2 aufgeführt. Weitere Probendetails sind den Projektberichten an das LBGR Brandenburg: ELICKI (2016), ELICKI (2017a) und ELICKI (2017b) zu entnehmen.

Insgesamt wurden 93 Proben mikropaläontologisch analysiert und weitere 50 vergleichend nach Makrofaunen bemustert. Alle Karbonatproben für die mikropaläontologische Analyse wurden mit konzentrierter Essigsäure zuzüglich Kupfer-(II)-Sulfat (nach NÖTZOLD 1965) aufbereitet. Um aufbereitungsbedingte Verfälschungen zu vermeiden, erfolgte zur Kontrolle zusätzlich eine Aufbereitung der Proben aus den Bohrungen Jänschwalde mit verdünnter Essigsäure (12 %ig). Nur wenige Proben (Jäw 13906-01, Jäw 14799-01) wurden lediglich mit Wasser geschlämmt und mit ca. 7 %igem Wasserstoffperoxyd nachbehandelt. Die Probe Zlh 1/65-52 wurde ausschließlich mit Wasser geschlämmt. Der Probenumfang belief sich auf jeweils 250 g Material pro Probe. Die Schlämmlung des Materials erfolgte mit genormten Sieben der Maschenweiten 0,3 mm und 0,1 mm.

## Oberfläche Präkänozoikum

mit Bezeichnung der Zechsteinsalinar-Strukturen  
und vermuteter subsalinarer WNW - ESE Wrenchtektonik



Ausschnitt Geologische Übersichtskarte des Landes Brandenburg 1 : 300 000 - Karte ohne Känozoikum: Horst Beer, 2003  
Ergänzungen: Michael Göthel, 22.08.2019

Abb. 2:

Karte der Oberfläche Präkänozoikum von Zentralnordbrandenburg einschließlich Berlin mit Lage der in diesem Beitrag paläontologisch untersuchten staatlichen Kartierungsbohrungen Zechlinerhütte Kb Zlh 1/65 und Klaushagen Kb Khg 1/64. Schwarze Linien – Bruchstörungen im Suprasalinar-Stockwerk, rote Linien – Bruchstörungen im Salinar- und Subsalinar-Stockwerk, K2Nn – Nennhausen-Formation, K2ma – Maastricht, K2cp – Campan, K2sa – Santon, K2co – Coniac, K2tr – Turon, K2ce – Cenoman, K1al – Alb, K1ht-ba – Hauterive bis Barrême, K1wd-vl – deutsches Wealden bis Valangin, J3 – Malm, J2 – Dogger, J1 – Lias, Tko – Oberer Keuper, Tkm – Mittlerer Keuper, Tku – Unterer Keuper, Tm – Muschelkalk, Tso – Oberer Buntsandstein

Fig. 2:

Map of the pre-Cenozoic surface of the central north Brandenburg area with the location of the here investigated state exploration drillings Zechlinerhütte Kb Zlh 1/65 and Klaushagen Kb Khg 1/64.

Black lines – faults at suprasalinar- etage, red lines – faults at salinar- and subsalinar- etage, K2Nn – Nennhausen Formation, K2ma – Maastrichtian Stage, K2cp – Campanian Stage, K2sa – Santonian Stage, K2co – Coniacian Stage, K2tr – Turonian Stage, K2ce – Cenomanian Stage, K1al – Albian Stage, K1ht-ba – Hauterivian to Barremian Stage, K1wd-vl – German Wealden to Valanginian Stage, J3 – Malm Group, J2 – Dogger Group, J1 – Lias Group, Tko – Upper Keuper Subgroup, Tkm – Middle Keuper Subgroup, Tku – Lower Keuper Subgroup, Tm – Muschelkalk Group, Tso – Upper Buntsandstein Subgroup

Bohrung	Proben-Nr.	Kisten-Nr.	Kernmarsch [m]	Proben-Oberkante [m von Kopf] bzw. Proben-Abschnitt [m]	Proben-Länge [m]
Brk Jäw 11507/2006	11507/2006-01	2	195,00 – 199,00	0,13	0,05
	11507/2006-02	2	195,00 – 199,00	0,38	0,10
Brk Jäw 13906/2014	13906/2014-01	o. A.	192,50 – 194,00	0,00	0,15
	13906/2014-02	o. A.	194,00 – 195,60	0,40	0,05
	13906/2014-03	o. A.	194,00 – 195,60	0,12	0,12
Brk Jäw 14799/2011	14799/2011-01	1	182,00 – 185,00	0,80	0,10
	14799/2011-02	2	185,00 – 189,00	0,18	0,05
	14799/2011-03	3	189,00 – 192,00	1,53	0,05
	14799/2011-04	4	189,00 – 192,00	2,90	0,07
Brk Jäw 14800/2011	14800/2011-01	2	202,00 – 206,00	1,28	0,10
	14800/2011-02	2	202,00 – 206,00	3,23	0,10
	14800/2011-03	3	209,00 – 214,00	1,34	0,10
	14800/2011-04	4	209,00 – 214,00	2,15	0,05
Brk Jäw 14810/2011	14810/2011-01	1	174,70 – 176,00	0,30	0,12
	14810/2011-02	4	179,00 – 180,50	1,13	0,07
Brk Jäw 16301/2016	16301/2016-01	o. A.	201,40 – 206,80	201,58 – 201,68	0,10
	16301/2016-02	o. A.	201,40 – 206,80	202,10 – 202,16	0,06
	16301/2016-03	o. A.	201,40 – 206,80	202,45 – 202,51	0,06
	16301/2016-04	o. A.	201,40 – 206,80	203,34 – 203,40	0,06
	16301/2016-05	o. A.	201,40 – 206,80	204,70 – 204,80	0,10
	16301/2016-06	o. A.	201,40 – 206,80	204,95 – 205,05	0,10
	16301/2016-07	o. A.	206,80 – 211,00	207,05 – 207,15	0,10
	16301/2016-08	o. A.	206,80 – 211,00	207,45 – 207,52	0,07
	16301/2016-09	o. A.	206,80 – 211,00	207,70 – 207,82	0,12
	16301/2016-10	o. A.	206,80 – 211,00	208,95 – 209,05	0,10
	16301/2016-11	o. A.	206,80 – 211,00	209,55 – 209,61	0,06

Tab. 1: Beprobungsübersicht zu den Bohrungen der Braunkohlenerkundung im Raum Südost-Brandenburg (o. A. – ohne Angabe)

Tab. 1: Overview of the samples from the lignite exploration drillings of southeastern Brandenburg (o. A. – without data)

Seite 64:

Tab. 2a: Beprobungsübersicht zur Kartierungsbohrung Klaushagen Kb Khg 1/64 (Nord-Brandenburg). Grau hinterlegt: Proben, die zusätzliche für makropaläontologische Untersuchungen genommen wurden

Tab. 2a: Overview of the samples from the state exploration drilling Klaushagen Kb Khg 1/64 (north Brandenburg). Gray shaded: samples taken for additional macropalaeontological investigation

Proben-Nr.	Kisten-Nr.	Kernmarsch [m]	Probe-Oberkante [m von OK Kiste]	Proben-Länge [m]
Khg 1/64-24	25	448,70 – 451,70	0,30	6
Khg 1/64-25	26	479,70 – 482,70	0,50	8
Khg 1/64-26	31	540,00 – 542,60	0,45	5
Khg 1/64-27	35	570,00 – 573,00	0,20	8
Khg 1/64-28	39	620,00 – 623,00	0,70	6
Khg 1/64-29	44	650,00 – 653,00	0,20	9
Khg 1/64-1 A+B	48	701,20 – 702,50	0,65	5
Khg 1/64-2 A+B	48	701,20 – 702,50	0,70	5
Khg 1/64-30	48	701,20 – 702,50	0,80	8
Khg 1/64-32	56	704,75 – 707,20	0,20	5
Khg 1/64-3 A+B	56	704,75 – 707,20	0,70	5
Khg 1/64-31	xx	706,00 – 708,00	0,70	5
Khg 1/64-33	60	710,20 – 712,70	0,45	7
Khg 1/64-34	61	710,20 – 712,70	0,32	4
Khg 1/64-35	63	712,70 – 715,00	0,50	4
Khg 1/64-36	64	712,70 – 715,00	0,35	5
Khg 1/64-37	66	717,30 – 718,80	0,30	5
Khg 1/64-38	67	717,30 – 718,80	1,00	5
Khg 1/64-39	72	724,80 – 725,70	0,07	7
Khg 1/64-40	76	725,70 – 728,70	0,33	8
Khg 1/64-41	78	728,70 – 731,55	0,15	5
Khg 1/64-42	81	733,45 – 734,55	0,07	7
Khg 1/64-43	82	733,45 – 734,55	0,80	10
Khg 1/64-4 A+B	83	733,45 – 734,55	0,80	2
Khg 1/64-44	86	735,30 – 738,40	0,50	7
Khg 1/64-5 A+B	86	735,30 – 738,40	0,20	17
Khg 1/64-45	90	738,40 – 741,40	0,38	5
Khg 1/64-46	96	744,40 – 747,45	0,90	4
Khg 1/64-47	99	747,45 – 750,10	0,35	5
Khg 1/64-48	103	750,10 – 753,10	0,15	7
Khg 1/64-49	104	750,10 – 753,10	0,09	9
Khg 1/64-50	107	753,10 – 756,10	0,70	6
Khg 1/64-51	109	756,10 – 758,85	0,80	7
Khg 1/64-52	110	756,10 – 758,85	0,45	7
Khg 1/64-6 A+B	110	756,10 – 758,85	0,85	12
Khg 1/64-53	113	761,85 – 762,05	0,40	7
Khg 1/64-7 A+B	113	761,85 – 762,05	0,55	16
Khg 1/64-8 A+B	114	761,85 – 762,05	0,35	10
Khg 1/64-54	116	762,05 – 764,25	0,60	6
Khg 1/64-55	119	764,25 – 767,40	0,35	5
Khg 1/64-56	120	764,25 – 767,40	0,70	4
Khg 1/64-9 A+B	123	767,40 – 770,25	0,15	14
Khg 1/64-57	126	770,25 – 772,80	0,45	10
Khg 1/64-58	129	772,80 – 774,40	0,15	2
Khg 1/64-10 A+B	129	772,80 – 774,40	0,30	5
Khg 1/64-11 A+B	131	775,35 – 777,55	0,00	8
Khg 1/64-59A	131	775,35 – 777,55	0,00	8
Khg 1/64-12	132	775,35 – 777,55	0,10	1
Khg 1/64-13 A+B	132	775,35 – 777,55	0,20	2
Khg 1/64-59B	133	775,35 – 777,55	0,30	5
Khg 1/64-14 A+B	134	777,55 – 781,10	0,55	7
Khg 1/64-15	135	777,55 – 781,10	0,10	3
Khg 1/64-16	135	777,55 – 781,10	0,60	2
Khg 1/64-17	136	777,55 – 781,10	0,20	5
Khg 1/64-60	136	777,55 – 781,10	0,50	2
Khg 1/64-18	137	781,10 – 784,00	0,06	6
Khg 1/64-19	137	781,10 – 784,00	0,40	3
Khg 1/64-20	137	781,10 – 784,00	0,60	10
Khg 1/64-21	138	781,10 – 784,00	0,20	10
Khg 1/64-22 A-D	139	784,00 – 786,80	0,15	8
Khg 1/64-23	139	784,00 – 786,80	0,20	2
Khg 1/64-61	139	784,00 – 786,80	0,50	5
Khg 1/64-62	145	789,20 – 790,20	0,04	4
Khg 1/64-63	165	806,90 – 809,90	0,05	5

Proben-Nr.	Kisten-Nr.	Kernmarsch [m]	Proben-Oberkante [m von Kopf]	Proben-Länge [m]
Zlh 1/65-28	30	449,10 – 452,10	0,33	0,09
Zlh 1/65-29	33	520,00 – 522,60	0,30	0,09
Zlh 1/65-30	36	600,00 – 602,60	0,22	0,06
Zlh 1/65-31	37	600,00 – 602,60	1,10	0,06
Zlh 1/65-32	44	670,00 – 673,00	0,15	0,05
Zlh 1/65-33	44	670,00 – 673,00	0,15	0,03
Zlh 1/65-01	44	670,00 – 673,00	0,53	0,025
Zlh 1/65-02	44	670,00 – 673,00	0,53	0,01
Zlh 1/65-03	45	683,00 – 686,00	0,05	0,08
Zlh 1/65-04	45	683,00 – 686,00	0,21	0,03
Zlh 1/65-34	45	683,00 – 686,00	0,25	0,05
Zlh 1/65-35	53	714,90 – 716,50	0,35	0,13
Zlh 1/65-36	55	720,00 – 721,50	0,44	0,06
Zlh 1/65-05	55	720,00 – 721,50	0,61	0,02
Zlh 1/65-06	55	720,00 – 721,50	0,61	0,08
Zlh 1/65-37	57	721,50 – 722,50	0,67	0,04
Zlh 1/65-07A+B	57	721,50 – 722,50	0,88	0,04+0,03
Zlh 1/65-08	63	722,50 – 725,50	0,05	0,03
Zlh 1/65-09	63	722,50 – 725,50	0,05	0,04
Zlh 1/65-10	63	722,50 – 725,50	0,37	0,02
Zlh 1/65-11	63	722,50 – 725,50	0,37	0,02
Zlh 1/65-12	63	722,50 – 725,50	0,37	0,02
Zlh 1/65-13	63	722,50 – 725,50	0,37	0,02
Zlh 1/65-14	63	722,50 – 725,50	0,37	0,03
Zlh 1/65-38	63	722,50 – 725,50	0,52	0,05
Zlh 1/65-15	65	725,50 – 728,50	0,10	0,01
Zlh 1/65-16	65	725,50 – 728,50	0,10	0,01
Zlh 1/65-39	65	725,50 – 728,50	0,56	0,06
Zlh 1/65-40	73	748,00 – 752,40	0,20	0,08
Zlh 1/65-17	75	752,40 – 759,00	0,10	0,03
Zlh 1/65-18	75	752,40 – 759,00	0,10	0,02
Zlh 1/65-41	75	752,40 – 759,00	0,35	0,09
Zlh 1/65-42	86	761,10 – 770,00	0,33	0,12
Zlh 1/65-43	87	770,00 – 773,00	0,11	0,07
Zlh 1/65-19	87	770,00 – 773,00	0,28	0,01
Zlh 1/65-20	87	770,00 – 773,00	0,28	0,03
Zlh 1/65-44	90	773,00 – 776,00	0,57	0,08
Zlh 1/65-45	94	776,00 – 783,00	0,24	0,10
Zlh 1/65-21	103	783,00 – 791,10	0,14	0,01
Zlh 1/65-22	103	783,00 – 791,10	0,26	0,03
Zlh 1/65-46	103	783,00 – 791,10	0,37	0,03
Zlh 1/65-47	103	783,00 – 791,10	0,40	0,05
Zlh 1/65-48	105	783,00 – 791,10	0,43	0,07
Zlh 1/65-23	105	783,00 – 791,10	0,61	0,06
Zlh 1/65-24	105	783,00 – 791,10	0,67	0,11
Zlh 1/65-25	105	783,00 – 791,10	0,78	0,04
Zlh 1/65-26A+B	105	783,00 – 791,10	0,82	0,03
Zlh 1/65-49	107	791,10 – 797,30	0,26	0,06
Zlh 1/65-51	118	797,30 – 804,60	0,00	0,12
Zlh 1/65-27	118	797,30 – 804,60	0,07	0,02
Zlh 1/65-50	113	797,30 – 804,60	0,72	0,07
Zlh 1/65-52	122	804,60 – 810,10	0,65	Lockermaterial

Tab. 2b: Beprobungsübersicht zur Kartierungsbohrung Zechlinerhütte Kb Zlh 1/65 (Nord-Brandenburg).

*Grau hinterlegt: Proben, die zusätzliche für makropaläontologische Untersuchungen genommen wurden*

Tab. 2b: Overview of the samples from the state exploration drilling Zechlinerhütte Kb Zlh 1/65 (north Brandenburg).

*Gray shaded: samples taken for additional macropalaeontological investigation*

Zur lithofaziellen Bewertung mittels Faziesanalyse wurden 63 nicht abgedeckte Dünnschliffe in den Formaten 28 x 48 mm und 50 x 75 mm und zahlreiche Kernschnitte angefertigt. Für die mikroskopischen Arbeiten wurden ein ZEISS-SV-11-Stereomikroskop, ein Amplital-Polarisationsmikroskop sowie ein Digitalmikroskop VHX 5000 der Firma KEYENCE genutzt. An ausgewählten Foraminiferen-Taxa wurden nach Gold-, Platin- bzw. Gold-/Palladiumbedampfung rasterelektronenmikroskopische Detailuntersuchungen mittels JEOL JSM-7001F (Schottky Emission Scanning Electron Microscope) durchgeführt.

Paläontologisch-taxonomische Bewertungen sowie stratigraphische Einstufungen erfolgten auf der Grundlage umfangreicher Spezialliteratur sowie unter Verwendung internetbasierter Datenbanken. Insbesondere fanden Verwendung: AMÉDRO (2008), AMÉDRO & ROBASYNSKI (2008), ANDO & HUBER (2007), BAILEY et al. (1984), BOLLI et al. (2007), BOUDAGHER-FADEL (2012, 2015), CUSHMAN (1940, 1948), DOCHEV (2015), DUBICKA & PERYT (2014), DUBICKA et al. (2014), DUPPER (1952), EICHER & WORSTELL (1970), EZAMPANAH et al. (2013), FRANKE (1928), FRENZEL (2000), FRIEDRICH et al. (2006, 2009), FRIEG (1980), FRIEG & KEMPER (1989), FRIZZELL (1954), GALE et al. (2011), GAWOR-BIEDOWA (1980, 1992), GEORGESCU (2009), GRADSTEIN et al. (1999), HARRIS (1981), HASEGAWA (1999), HAYNES et al. (2015), HEMLEBEN et al. (1989a, 1989b), HILBRECHT et al. (1996), HOLBOURNE & KUHN (2000), HOLBOURNE et al. (2013), HRADEZKÁ (1999), HUBER & LECKIE (2011), ION et al. (2004), JORDAN & GASSE (1986), KAHIO et al. (1993), KAMINSKI & GRADSTEIN (2005), KENNEDY et al. (2004), KHAN (2012), KIESEL (1955), KOCH (1977), LEARY (1987), LIPSON-BENITAH (2008), MOULLADE et al. (2008), MWENEINDA (2014), NEAGU (1979, 2005, 2012), NUGLISCH (1975), PATTERSON et al. (2010), PERYT (1980, 2004), PETRIZZO (2013a, 2013b), PETRIZZO & PREMOLI SILVA (2011), PETRIZZO et al. (1980), PREMOLI SILVA & VARGA (2004), QUILTY (1992), RESCHER (1991), ROBASYNSKI & CARON (1979), ROBASYNSKI et al. (1984), ROMPF (1960), SEN GUPTA (2002), SOUA (2011), STEININGER (2000), SZAREK et al. (2000), TARKOWSKI & LISZKA (1984), TRÖGER & NIEBUHR (2014), TRONCHETTI & GROSHENY (1991), TYSZKA (2006), VÁZQUEZ RIVEIROS & PATTERSON (2007), VENCKUTĚ-ALEKSIENĚ (2005, 2010), WALASZCZYK et al. (2013), ŽITĚT et al. (2015) sowie die Datenbanken *Chronos-Portal Database*, *World Foraminifera Database* und *Pforams-Mikrotax*.

### 3 Regionalgeologische Situation, Bruch- und Halotektonik

Die untersuchten Kernstrecken aus den staatlichen Kartierungsbohrungen befinden sich in Gebieten, deren Lagerungsverhältnisse hauptsächlich halotektonisch durch die Entwicklung der Zechsteinsalinar-Strukturen geprägt sind und in Brandenburg nach Norden an Deutlichkeit zunehmen (Abb. 2). Diese Salinarstrukturen sind hauptsächlich

an Kreuzungspunkte von bruchtektonischen Störungen des Subsalinar-Stockwerks gebunden, die das Relief der Rotliegend-Oberfläche prägen und die Faziesentwicklung im basalen Zechstein steuern (u. a. GÖTHEL 2012). Diese Kreuzungspunkte können auch die Bildung von Schildvulkanen während des Unterrotliegend-Vulkanismus bedingt haben. Andererseits führte eine postvariszische Wrenchtektonik (BALTRUSCH & KLARNER 1993) zur Bildung von Pull-Apart-Becken, die hauptsächlich und zeitgleich durch von ihren Flanken ausgehende Unterrotliegend-Vulkanite und deren Abtragungsprodukte aufgefüllt wurden. Im Mesozoikum können im Gebiet vorgeprägter Wrenchtektonik Aufwölbungen nicht nur infolge der Salinartektonik sondern auch als Resultat von Stapelungen mit Duplex- und Triangle-Strukturen bis zu Fischschwanz-Strukturen (VON HAGKE & MALZ 2018) hervorgerufen worden sein. In Brandenburg wird ihr Auftreten hauptsächlich zwischen dem Salzkissen der Struktur Rüdersdorf und der Fürstenwalder Störungszone vermutet, einem Gebiet, welches vornehmlich durch WNW–ESE gerichtete Bruchtektonik geprägt ist. Die Kartierungsbohrung Zechlinerhütte Kb Zlh 1/65 befindet sich im W-Teil der Salzabwanderungssenke zwischen den Zechsteinsalinaradiapien Zechlin, Dollgow und Wesenberg (Mecklenburg-Vorpommern) sowie dem Salzkissen Himmelpfort. Am N-Rand der Salzkissenzwischensenke, dessen Salzabwanderung zu den Salzkissen Himmelpfort, Klaushagen, Flieth und dem Zechsteinsalinaradiapir Storkow erfolgt, befindet sich die Kartierungsbohrung Klaushagen Kb Khg 1/64.

Während der Norden Brandenburgs hauptsächlich durch ein WNW–ENE und SSW–NNE verlaufendes Störungssystem gekennzeichnet ist, gewinnen südlich Berlins die NW–SE-Richtung und SW–NE-Richtung an Bedeutung. Im Zuge der Braunkohlenerkundung sind in der Nordost-Lausitz an den SSW–NNE verlaufenden Störungen erhebliche dextrale Seitenverschiebungsbeträge belegt worden. Diese sind mit der Bildung von Akkomodationszonen auch im Raum Bad Freienwalde (GÖTHEL 2018b) sowie großdimensionaler zwischen Fürstenwalder und Gubener Störungszone (Abb. 1, Einbl. I) nachgewiesen. Mit der Heinersbrücker Störung kommt ein WSW–ENE Verlauf von Bruchstörungen hinzu. Diese Störung trennt bruchtektonisch die Peitzer von der Forster Oberkreide-Mulde. Beide Mulden gehören zur Ostbrandenburgischen Kreidesenke, die südöstlich des Zechsteinsalzkissens der Struktur Jerischke-Raden in die Nordsudetische Kreidesenke übergeht. Im Nordosten wird die Ostbrandenburgische Kreidesenke von der Nordbrandenburgischen Kreidesenke durch die Fürstenwalder und die Gubener Störungszone bruchtektonisch getrennt. Die NW–SE verlaufenden Störungszonen bestimmen die Absenkungen und Muldenbildungen durch NE gerichtete Aufschiebungen während der Oberkreide. Ihre dextrale Seitenverschiebung wird einerseits durch die en-échelon-Anordnung von Trias- und Jura-Aufbrüchen hervorgehoben. Ihre Heraushebung kann hauptsächlich auf Stapelungen von Duplex- bis zu Triangle-Strukturen zurückgeführt werden, die durch bruchtektonisch ausgelöste Zechsteinsalinar-Injektionen verstärkt werden können, wie es an der Struktur Dissen nachgewiesen ist. Andererseits ruft die

dextrale Seitenverschiebung Grabenbildungen hervor, wie der Pinnower Graben der Fürstenwalder Störungszone und der Fünfeichener Graben der Gubener Störungszone zeigen. Die zu fortführend gebildeten Triangle-Strukturen gehörenden SW gerichteten Rückaufschiebungen, wie in der Fehrower Störungszone, führten zur Bildung weiterer Oberkreide-Mulden wie die Briesener Oberkreide-Mulde und ebenso die kleinräumige Campan-Mulde westlich der Struktur Dissen. Die in diesem Beitrag mikropaläontologisch untersuchten Kernstrecken aus den Prätertiärbohrungen der Braunkohlenerkundung Jänschwalde stammen aus dem ostnordöstlichen Randbereich der Peitzer Oberkreidemulde.

#### 4 Fazielle Charakterisierung und biostratigraphische Interpretation

##### 4.1 Südost-Brandenburg

Das bearbeitete Probenmaterial entstammt Bohrungen, die im Zuge der Braunkohlenerkundung Jänschwalde (Nordost-Lausitz, Südost-Brandenburg) abgeteuft wurden (Abb. 1, Einbl. I): Brk Jäw 11507/2006, Brk Jäw 13906/2014, Brk Jäw 14799/2011, Brk Jäw 14800/2011 (siehe auch Abb. 3), Brk Jäw 14810/2011, Brk Jäw 16301/2016 (siehe auch Abb. 4).

##### 4.1.1 Fazielle Aspekte

Die beprobten Einheiten der untersuchten Bohrprofile präsentieren feinkörnige, kalkig-mergelige Lithotypen mit einem zumeist signifikanten Anteil an Foraminiferen. Größtenteils entspricht die lithofazielle Ausbildung bioklastischen Foraminiferen-Wackestones (gelegentlich mit erhöhten Anteilen an Echinodermaten-Skleriten oder Calcisphären), nur selten Calcisphären-Wackestones (Proben Jäw 14799/2011-02, -03, Jäw 14810/2011-01, -02, Jäw 16301/2016-08) und sehr selten Calcisphären-Grainstones (Probe Jäw 14800/2011-03). Zahlreiche Proben enthalten Hinweise auf Bioturbation im Mikro- und Makrobereich. In letzterem treten diese Erscheinungen als dunklere Schmitzen im hellen Kalkstein in Erscheinung. Die Bezeichnung „Flaserung“ für dieses Phänomen ist verbreitet, jedoch nicht korrekt, da es sich dabei nicht um residuale Sedimentstrukturen aus dem Bereich der Wellenagitation handelt, sondern um oft diffuse Spuren kleinräumiger Bioturbation, welche diagenetisch verstärkt wurden (Pyritstaub-Bildung aufgrund lokaler, geringfügig erhöhter Gehalte an organischer Substanz). Für weitere lithologische Details wird auf die im Kapitel 2 zitierten Projektberichte verwiesen.

Die **Foraminiferen-Fauna** der untersuchten Proben variiert hinsichtlich des taxonomischen Bestandes, der Quantität und der Erhaltung des Materials. Letztere (insbesondere durch Rekristallisation und diagenetische Schalenlösung geprägt) ist verantwortlich für eine taxonomische Zuordnung, welche oft lediglich nur bis zur Gattungsebene oder darüber erfolgen kann.

Das Spektrum der planktonischen Foraminiferen ist divers, wiewohl es erwartungsgemäß deutlich unter dem des Benthos liegt. Je Probe finden sich etwa vier Foraminiferen-Taxa. Insgesamt ist das Spektrum der planktonischen Formen über alle Proben aus dem Gebiet Jänschwalde hinweg ähnlich. Generell dominieren Taxa der Hedbergellidae und Whiteinellidae (*Clavihedbergella*, *Muricohedbergella*, *Whiteinella*). Neben diesen ungekielten Formen treten öfter auch gekielte Formen auf (*Dicarinella*, *Marginotruncana*, selten *Rotalipora*). In der Bohrung Brk Jäw 16301/2016 kommt die biserielle Form *Planoheterohelix* hinzu (Proben -01, -02, -03). Lediglich diese sechs Gattungen repräsentieren den gesamten Plankton-Anteil der Foraminiferen-Fauna im Probenmaterial des Raumes Jänschwalde. Herausstechend sind die Proben Jäw 14800/2011-01 mit einer deutlich erhöhten und Jäw 11705/2006-01 sowie Jäw 14810/2011-02 mit einer jeweils stark eingeschränkten Biodiversität. Ein Rückgang der Planktondiversität in Probe Jäw 14800/2011-03 geht mit dem oben erwähnten, deutlichen Benthos-Anstieg einher. Die Proben Jäw 14800/2011-01 und Jäw 14800/2011-02 fallen durch ihre deutlich erhöhte Individuenzahl an Hedbergellidae auf (*Whiteinella*, *Clavihedbergella*, *Muricohedbergella*). Generell gilt *Whiteinella* als Anzeiger für mesotrophe Verhältnisse, *Muricohedbergella* für eher eutrophe. Oligotrophes Milieu wird bei Proben mit einer großen Individuenzahl dieser beiden Taxa (Proben Jäw 14800/2011-01, -02) als eher unwahrscheinlich angesehen.

Die benthonische Foraminiferen-Fauna weist eine auffallend hohe Biodiversität auf Gattungs- und Artniveau (alpha-Diversität) auf und übersteigt die des Foraminiferen-Planktons um das Drei- bis Fünffache. Insgesamt wurden 27 benthonische Gattungen, z. T. mit mehreren Arten diagnostiziert (siehe Einbl. II, Tab. 3). Einige Taxa sind als „Durchläufer“ in nahezu allen untersuchten Proben anzutreffen: *Ammodiscus*, *Arenobulimina*, *Ataxophragmium*, *Frondicularia*, *Gaudryina*, *Gavelinella*, Lenticulininae, *Tritaxia*. Auffällig ist ein markanter Anstieg des Benthos-Anteils in Probe Jäw 14800/2011-03, was mit einer Diversitätszunahme einhergeht. Agglutinierte Formen (insbesondere *Ammodiscus* und *Arenobulimina*) treten in der Bohrung Brk Jäw 11507/2006

Abb. 3 (Seite 70):

Bohrprofil Jänschwalde Brk Jäw 14800/2011 vom Präkänozoikum – Beispiel 1 zur feinstratigraphischen Bewertung der lithologischen, geophysikalischen und biostratigraphischen Ergebnisse

Fig. 3:

The pre-Cenozoic drilling log Jänschwalde Brk Jäw 14800/2011 – Example 1 for the high-resolution stratigraphical evaluation of the lithological, geophysical and biostratigraphical results

### Jänschwalde Brk Jäv 14800/2011

Hochwert: 57 55208,0 m  
 Rechtswert: 54 70817,6 m  
 Ansatzhöhe: +64,5 m NHN

Abweichung: nicht gemessen  
 Azimut: nicht gemessen  
 Teufenreduktion: nicht gemessen

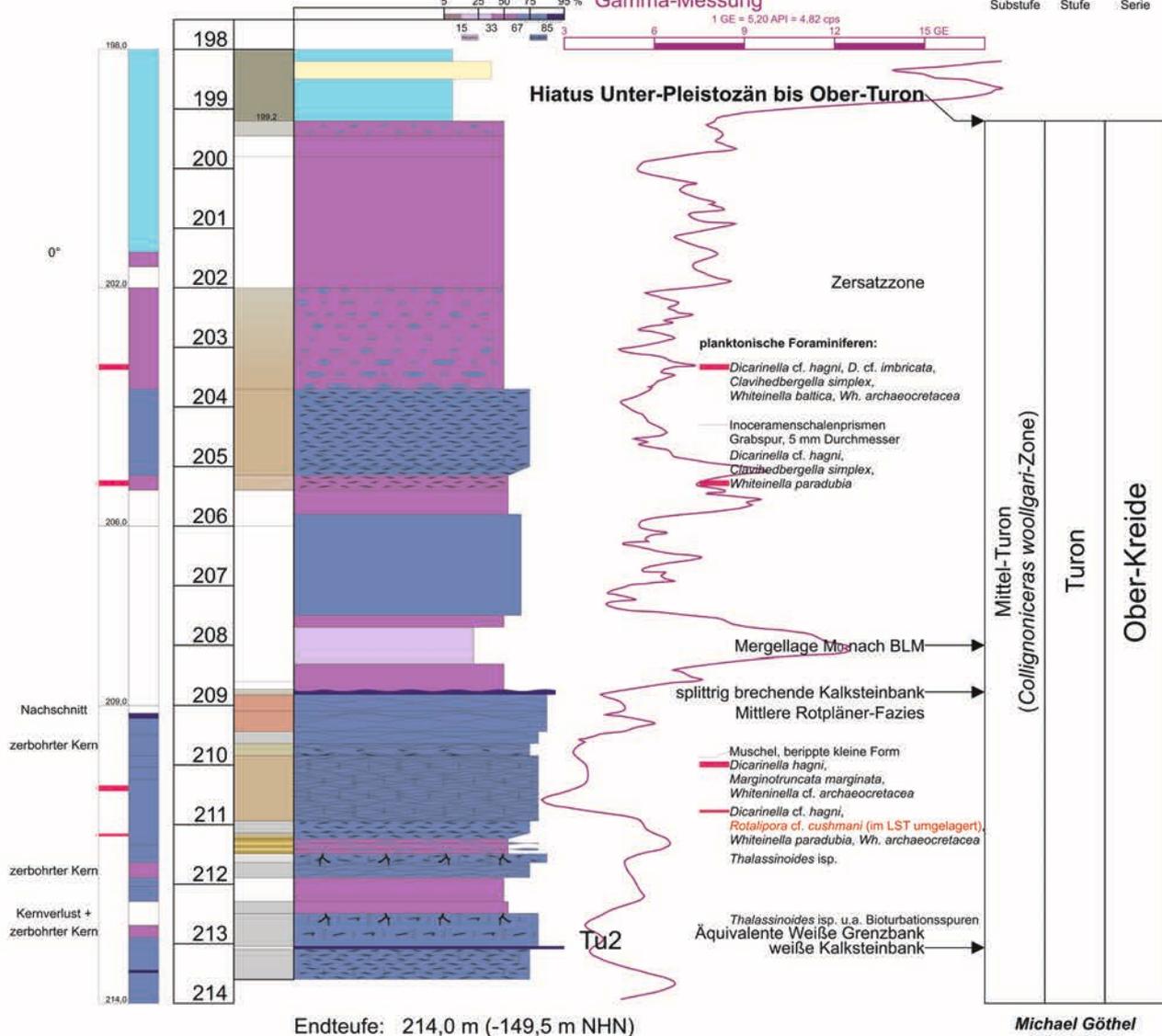
Schicht-einfallen Kernmarsch/ korrigierte Färbung  
 Kerngewinn/ Teufe  
 Proben Mikrofauna in m

Komposition

Proben / Paläontologie von ELICKI  
 04.03.2016 / Leithorizonte /  
 Gamma-Messung

Stratigraphie

Substufe Stufe Serie



Endteufe: 214,0 m (-149,5 m NHN)

Michael Göthel  
 11.11.2019

Die Teufe der präkänozoischen Oberfläche wird von der Gamma-Gamma-Kurve (nicht dargestellt) durch den Dichtesprung bei 199,2 m deutlich abgebildet. Damit ist der Kerngewinn von pleistozänem Bänderton mit -sand im Kernmarsch von 198,0 bis 202,0 m zum Teil dem totalen Kernverlust des Kernmarsches von 194,0 bis 198,0 zuzuordnen. Die Zersatzzone geht allmählich mit größer werdenden kalkigen Brocken (erbohrt eine Größe bis 7 cm und u. a. Rotpläner-Anteil) in das Festgestein über.

Die splittrig brechende Kalksteinbank schwankender Mächtigkeit über dem Flaserkalkstein mit hellbraunviolettem Farbanteil lässt auf eine Transgressionsfläche schließen, die einen LST mit Omissionsphasen und *Thalassinoides* isp. abschließt. Der LST setzt mit der weißen, schreibkreideähnlichen Kalksteinbank ein und könnte nach den mikropaläontologischen Ergebnissen mit der Sequenzgrenze Tu2 sensu HARDENBOL et al. (1998) beginnen. Damit würde er dem Bereich der Weißen Grenzbank und des Mittleren Rotpläners Niedersachsens im Mittel-Turon zuzuordnen sein. Der Gamma-Peak darüber würde der Mergellage M<sub>0</sub> Niedersachsens entsprechen, die auf der Transgressionsoberfläche über dem LST folgt. Das Vorkommen von *Rotalipora cf. cushmani* ist auf Umlagerung abgetragenen Cenomans im LST infolge Intensivierung der Salzkissenbildung der Struktur Guben zurückzuführen.

- |                 |                         |                  |                                     |
|-----------------|-------------------------|------------------|-------------------------------------|
| Kalkstein       | Mergelstein             | Schlieren        | Bioturbation (Durchmischung)        |
| Kalkmergelstein | Tonmergelstein nach BLM | Flaserschichtung | Bioturbationsspuren ("Wurmsspuren") |



deutlich zurück (jedoch wurde in dieser Bohrung die typische Form *Gyroidinoides umbilicatus* gefunden).

Interessant ist das mitunter massive, jedoch auf wenige Horizonte beschränkte Auftreten von Calcisphären (als Zysten von Algen-oder Dinoflagellaten interpretiertes Phytoplankton). Wo diese Biogene dominieren, treten planktonische Foraminiferen auffallend zurück. Gleichzeitig nimmt in diesen Proben die Benthosdiversität zu.

In Tab. 3 (Einbl. II) sind alle diagnostizierten Foraminiferen-Taxa und deren Vorkommen in den jeweiligen Proben des Untersuchungsgebietes Südost-Brandenburg tabellarisch aufgelistet.

Die **sonstige Fauna und Flora** in den untersuchten Proben besteht nahezu vollständig aus disartikulierten Resten geringer Größe, die im Sinne der biostratigraphischen Aufgabenstellung jedoch nicht näher bearbeitet wurden. Calcisphären (Phytoplankton-Zysten) werden zumeist mit Dinoflagellaten in Zusammenhang gebracht. Sie sind auf wenige Proben beschränkt, treten dort jedoch häufig, mitunter sogar dominant auf. Bivalvia (Mollusca) treten im Dünnschliff in Form sehr kleiner und sehr stark zerbrochener Schalenfragmente in Erscheinung – fast ausschließlich handelt es sich dabei um Prismen von Schalen inoceramider Muscheln. Stachelhäuter (Echinodermata) sind gelegentlich in Dünnschliffen in Form vollständig disartikulierter Sklerite vertreten. Die stets sehr kleinen Platten sind als charakteristische Calcit-Einkristalle mit Echinodermaten-typischer, netzartiger Stereom-Struktur erhalten. Aufgrund der Skleritmorphologie kommen als Ursprungsorganismen hauptsächlich Asterozoa (Seesterne und Schlangensterne) und Crinozoa (Seelilien und Haarsterne) in Betracht. Ostracoda (Arthropoda) treten in einklappiger und zweiklappiger Erhaltung mit nur wenigen Exemplaren auf. Die Formen sind dem Benthos zuzuweisen. Sie wurden in etwa der Hälfte der Proben gefunden. Ihre Diversität ist gering. Bryozoa (Tentaculata) wurden äußerst selten und ausschließlich in Dünnschliffen beobachtet. Die Biogene sind als sehr kleinstückig zerbrochene Reste von Zoarien erkennbar. Porifera (Schwämme) konnten in Form isolierter Spiculae in Dünnschliffen in sehr geringer Zahl nachgewiesen werden. Es wurden ausschließlich Monaxone beobachtet, die keine nähere Ansprache zulassen. Fossilien von Knochenfischen (Osteichthyes) sind äußerst selten; ihre Reste lassen sich gelegentlich als abradierte, honigbraune, nicht näher zu spezifizierende Skelettelemente (Schuppen, selten Knöchelchen) im Dünnschliffbild beobachten. In einem Fall (Brk Jäw 16301/2016) konnten als makroskopische Reste zahlreiche Schuppen eines nur partiell disartikulierten Fisches näher als *Osmeroides* sp. bestimmt werden (Bestimmung durch I. Kogan, TU Freiberg). Hinweise auf eine Ichnofauna (von Organismen erzeugte Spuren) finden sich in verschiedenen Bohrkernabschnitten. Es handelt dabei um zumeist schwach definierte Bioturbationsarchitekturen, die keine nähere taxonomische Bestimmung zulassen.

## Interpretation

Als gesichert autochthone Biogene kann im vorliegenden Probenmaterial der größte Teil der Mikrofauna (Foraminiferen, z. T. Ostrakoden) eingeschätzt werden. Schwamm-Spiculae werden aufgrund der oben genannten taphonomischen Charakteristika ebenso wie die Bivalvia als sehr wahrscheinlich allochthon angesehen. Die generell sehr kleinen Sklerite der Echinodermaten, Bryozoen und Knochenfische liegen disartikuliert, aufgearbeitet und offensichtlich Transport-selektiert vor und sind als gesichert allochthon zu interpretieren. Während die Foraminiferen-Fauna sowohl benthonische als auch planktonische Elemente enthält und die Calcisphären als ausschließlich planktonisch angesehen werden können, sind die disartikulierten Metazoen-Reste dem mobilen (untergeordnet sessilen) Benthos zuzuordnen. Die wenigen Knochenfische lebten nektonisch.

Alle paläontologischen Belege deuten auf stets offenermariner Lebensräume normalmariner Salinität im Schelfbereich hin. Jedoch weisen Unterschiede in Faunenzusammensetzung und Diversitätsentwicklung der Proben auf leicht unterschiedliche Schelfpositionen des Sedimentationsraumes hin. Faziell repräsentieren die untersuchten Kalkstein-Lithotypen und Faunen generell hemipelagische Verhältnisse.

Lithofaziell ist auffällig, dass die Sedimente über einen vergleichsweise hohen Matrix-Anteil verfügen und nahezu ausschließlich matrixgestützte Gefüge aufweisen (Wackestones). Der Karbonat-Gehalt schwankt recht stark (Kalkmergel bis Mergelkalk). Der nichtkarbonatische Anteil ist dabei äußerst feinkörnig und der Ton-Fraktion zuzuordnen. Es dominieren Foraminiferen-Wackestones, die immer wieder Bioklasten und mitunter Calcisphären führen. Komponentengestützte Faziestypen sind deutlich weniger häufig und treten bevorzugt in tieferen Bohrkernabschnitten auf. Dies und auch gewisse Diversitäts- und Häufigkeitsschwankungen bei der Fossilführung werden auf moderate laterale Verlagerungen des Sedimentationsraumes zurückgeführt. Ursachen dafür dürften in ebenso moderaten Schwankungen des Meeresspiegels zu sehen sein. Wenngleich mitunter Aufarbeitungserscheinungen und Hinweise auf Biogen-Transport zu erkennen sind, fehlen jedoch explizite Hinweise auf Flachwasserverhältnisse oder Küstennähe (z. B. klastischer Eintrag, charakteristische Korngrößen und Schichtungsmuster, markante Aufarbeitungsmuster etc.). Über den gesamten Sedimentationszeitraum der vorliegenden Profilabschnitte sind die Ablagerungsbedingungen als vergleichbar zu interpretieren. Es zeichnet sich das Bild eines vollmarinen, warmen Ablagerungsraumes meso- bis eutropher, niedrigerenergetischer, medialer bis distaler Schelfbereiche (offener Schelf bis Schelfrand-Bereich), wobei die Calcisphären-führenden Profilabschnitte (insbesondere jene im tieferen Teil der Abfolge) wohl etwas proximaler im Vergleich zu den (insbesondere im höheren Teil der Abfolge auftretenden) Foraminiferen-Wackestones anzusetzen sind, was eine insgesamt moderate transgressive Verlagerung des Sedimentationsgeschehens andeutet. Das Auftreten eines

auffälligen Aufarbeitungshorizonts am Top des Calcisphären-führenden unteren Profilabschnitts der Bohrung Brk Jäw 16301/2016 (Abb. 4) stützt diese Interpretation.

#### 4.1.2 Biostratigraphische Einstufung (vgl. Abb. 5)

Die stratigraphischen Alter der untersuchten Bohrkernabschnitte sind generell innerhalb der unteren Oberkreide angesiedelt und dem Turon zuzuordnen; die stratigraphischen Positionen der isolierten Mikrofaunen unterscheiden sich dabei nur relativ geringfügig (Tab. 6a).

Die beiden Proben der Bohrung Brk Jäw 11507/2006 weisen eine deutliche Dominanz der Gattung *Lenticulinina* (Benthos) auf. Generell deutet hier das Auftreten von *Ataxophragmium* cf. *depressum* (einer weiteren benthonischen Form) ein Mittel-Turon- bis Unter-Coniac-Alter an, in welchem diese Form in der sächsisch-böhmischen Kreide besonders auffällig ist. *Whiteinella archaeocretacea* reicht vom höchsten Cenoman bis in das oberste Coniac, *Whiteinella baltica* sogar darüber hinaus. Jedoch spricht *Whiteinella paradubia* für ein obercenomanes bis mittelturonisches Alter der Fauna. Auch das Auftreten der planktonischen *Marginotruncana marginata* (höheres Mittel-Turon bis höchstes Santon) koinzidiert mit diesem Zeitfenster. Das Hinzutreten von *Dicarinella* cf. *hagni* legt hingegen nahe, dass ein postturonisches Alter für die Faunen dieser Bohrung eher unwahrscheinlich ist. Damit ist nach planktonischen Foraminiferen eine Einstufung in das höhere Mittel-Turon bis Ober-Turon plausibel.

Die Proben der Bohrung Brk Jäw 13906/2014 führen vor allem *Whiteinella archaeocretacea*, *Whiteinella paradubia* und *Muricohedbergella delrioensis*. Die beiden erstgenannten Taxa deuten erneut auf turones Alter hin. Die ebenfalls auftretende *Clavihedbergella simplex* ist von Alb bis Coniac bekannt, *Whiteinella brittonensis* reicht hingegen nicht über das Mittel-Turon hinaus. Die untersuchte Kernstrecke deckt somit stratigraphisch den Zeitraum Unter- bis Mittel-Turon ab. Die Probe 13906-01 ist hingegen sowohl lithofaziell als auch biofaziell sehr stark abweichend und wird dem postkretazischen-präholozyänen Zeitraum (nach der regionalgeologischen Situation dem Oligozän) zugeordnet.

Aus der Bohrung Brk Jäw 14799/2011 wurden vier Proben entnommen. Bei Probe Jäw 14799/-01 dieser Bohrung verhält es sich ähnlich wie bei Probe Jäw 13906/2014-01. Ein Einzelfund von *Whiteinella archaeocretacea* sowie äußerst seltene und sehr schlecht erhaltene Lenticulininae müssen als Umlagerungen an der Känozoikum-Basis interpretiert werden: Vor allem aufgrund der lithofaziellen Ausbildung und durch Regionalvergleiche wird auch hier ein postkretazisch-präholozyänes, sehr wahrscheinlich oligozänes Alter interpretiert. Die drei weiteren Proben dieser Bohrung lieferten eine Foraminiferenplankton-Fauna, die mit jener der oben genannten Bohrung Brk Jäw 13906/2014 sehr stark übereinstimmt. Zudem wurde *Muricohedbergella* cf. *flan-*

*drini* beobachtet (Turon bis Unter-Santon). Allerdings fehlt *Whiteinella brittonensis*. Eine stratigraphische Einstufung in das Turon ist damit gesichert. Aufgrund der nahezu identischen Mikrofaunen (Spektrum, Diversität, Häufigkeiten) sowohl im Plankton als auch im Benthos der beiden benachbarten Bohrungen, ist eine entsprechende stratigraphische Präzisierung der Proben der Bohrung Brk Jäw 14799/2011 und deren Einordnung in das Unter- bis Mittel-Turon wahrscheinlich.

Von der Bohrung Brk Jäw 14800/2011 (vgl. Abb. 3) führen alle Proben das Taxon *Whiteinella archaeocretacea* (höchstes Cenoman bis Coniac). *Whiteinella paradubia* deutet innerhalb dieser Zeitraumes wieder auf Unter- und Mittel-Turon hin. *Dicarinella hagni* (höheres Unter-Turon bis Ober-Turon) stützt dies. *Marginotruncana marginata* setzt jedoch erst im höheren Mittel-Turon ein. Bis in das Coniac reicht *Clavihedbergella simplex*. Überraschend ist in diesem Zusammenhang das Auftreten von *Rotalipora* cf. *cushmani*, einer Leitform des höheren Mittel- bis Ober-Cenoman, mit einigen wenigen, schlecht erhaltenen Exemplaren. Während die genannten Arten von *Whiteinella*, *Marginotruncana* und *Dicarinella* ein Mittel- bis Ober-Turon-Alter nahelegen, deutet *Rotalipora* auf höheres Mittel- bis Ober-Cenoman hin! Aufgrund dieser stratigraphischen Widersprüchlichkeit wird der Probensatz der Bohrung Brk Jäw 14800/2011 in zwei Teufenbereiche gegliedert und getrennt betrachtet. Der lithostratigraphisch jüngere Beprobungsabschnitt, hier als Brk Jäw 14800/2011 (A) bezeichnet, umfasst die Proben Jäw 14800-1, Jäw 14800-2 und Jäw 14800-3. Der ältere Beprobungsabschnitt, Brk Jäw 14800/2011 (B), wird durch die Probe Jäw 14800-4 repräsentiert. Abschnitt (A) enthält die planktonischen Foraminiferen-Taxa *Whiteinella archaeocretacea*, *Whiteinella baltica*, *Whiteinella paradubia*, *Marginotruncana marginata*, *Dicarinella hagni*, *Dicarinella* cf. *imbricata*, *Clavihedbergella simplex* und *Muricohedbergella* cf. *delrioensis*. Die *Whiteinella*-Arten liefern insgesamt ein Turon-Alter. *Marginotruncana marginata* hingegen ist ein guter Anzeiger für Mittel-Turon bis Ober-Santon; *Dicarinella hagni* deutet auf höheres Unter-Turon bis Ober-Turon hin. *Clavihedbergella simplex* schließt ebenfalls diesen Bereich ein. Abschnitt (A) kann biostratigraphisch somit dem Turon, mit größter Wahrscheinlichkeit dem Mittel- bis Ober-Turon zugeordnet werden. Der Beprobungsabschnitt (B) enthält Taxa des höheren Unter-Turon bis Mittel-Turon (*Whiteinella archaeocretacea*, *Whiteinella paradubia*, *Dicarinella hagni*) sowie die Cenoman-Form *Rotalipora* cf. *cushmani*. Vom letztgenannten Taxon treten nur seltene und schlecht erhaltene Exemplare auf, welche zudem eine deutlich schlechtere Erhaltung als die Begleitfauna aufweisen. Dies deutet einerseits auf Umlagerungseffekte aus dem höheren Mittel- bis Ober-Cenoman hin (Geisterfauna), andererseits auf eine größere Nähe zum liegenden Cenoman als dies für Abschnitt (A) zutrifft; womit eher tieferes Turon für Abschnitt (B) wahrscheinlich ist. Derartige Umlagerungseffekte sind beispielsweise im Unter-Turon im Raum Hannover und im Harzvorland nicht selten (Koch 1977). Zudem findet sich im Beprobungsabschnitt (B) eine auffällige Rotfärbung; dies

Chronostratigraphie					Biostratigraphie		
Alter in Ma	Sub-system	Stufe	Substufe	Definition	Ammoniten subboreal / subtethyal	planktonische Foraminiferen	
84	Ober-Kreide	Santon	Ober	LAD <i>Marsupites testudinarius</i>	<i>Platiceras paraplanum</i>	<i>Dicarinella asymmetrica</i>	
85			FOD <i>Cordiceramus muelieri</i> & FOD <i>Gonoleuthis granulata</i>				
86			Mittel	FOD <i>Cordiceramus cordiformis</i>	<i>Texanites gallicus</i>		
87			Unter	FAD <i>Platyceramus undulatopticatus</i>	<i>Paratexanites serratomarginatus</i>		
88		Coniac	Ober	FOD <i>Magadiceramus subquadratus</i>		<i>Gauthierceras margae</i>	
89			Mittel	FOD <i>Volviceramus</i>			<i>Peroniceras tridorsatum</i>
90			Unter	FAD <i>Cremnoceramus rotundatus</i> (sensu TROGER non FIEBIGER)	<i>Prionocyclus germari</i>		
91		Turon	Ober		<i>Subprionocyclus neptuni</i>	<i>Marginotruncana schneegansi</i>	
92				Mittel	<i>Inoc. perplexus/Plesiocorys plana</i> -Event		<i>Collignoniceras woolgari</i>
93			Unter	<i>Mytiloides hercynicus</i> -Event	<i>Mammites nodosoides</i>		<i>Helvetoglobotruncana helvetica</i>
94			FOD <i>Mytiloides goppelnensis</i> , FOD <i>Mytiloides pueblensis</i> & FAD <i>Watinoceras devonense</i>	<i>Watinoceras devonense</i> <del><i>Negardoceras juddii</i></del> <del><i>Metioceras geslinianum</i></del> <del><i>Calycoceras guerangeri</i></del>	<i>Whiteinella archaeocretacea</i>		
95		Cenoman	Ober	FOD <i>Inoceramus pictus pictus</i>	<i>Acanthoceras jukesbrownei</i>	<i>Rotalipora cushmani</i>	
96				Mittel			<i>Acanthoceras rhotomagense</i>
97			Unter	FOD <i>Inoceramus schoendorfi</i>	<i>Cunningtoniceras inerme</i>	<i>Thalmaninella reicheli</i>	
98	Unter			<i>Mantelliceras dixoni</i>	<i>Thalmaninella globotruncanoides</i>		
99			<i>Mantelliceras saxbii</i>				
100			<i>Mantelliceras mantelli</i>				
101	FAD <i>Thalmaninella globotruncanoides</i>	<i>Stoliczkaia dispar</i>	<i>Parathalmaninella appenninica</i>				
102	Unter-Kreide	Vraconne		<i>Mortoniceras inflatum</i>	<i>Pseudothalmaninella ticinensis</i>		
103			FOD <i>Mortoniceras fallax</i>				
104		Ober		<i>Hysterocheras varicosum</i>	<i>Pseudothalmaninella subticinensis</i>		
105							
106							
107		FOD <i>Diploceras cristatum</i>	<i>Diploceras cristatum</i>	<i>Ticinella praeticinensis</i>			
108		Mittel		<i>Euhoplites lautus</i>	<i>Ticinella primula</i>		
109			<i>Euhoplites loricated</i>				
110	FOD <i>Hoplites dentatus</i>		<i>Hoplites dentatus</i>				
111	Unter		<i>Douvilleiceras mammillatum</i>	<i>Ticinella madecassiana</i>			
112		<i>Leymeriella tardefurcata</i>					
113		<i>Proleymeriella schrammeni</i>					
114		FAD <i>Microhedbergella renilaevis</i>	<i>Microhedbergella rischi</i> <i>Microhedbergella renilaevis</i> <i>Microh. miniglobularis</i>				
114				<i>Hypacanthoplites jacobi</i>	<i>Paraticinella eubejaouaensis</i>		

Abb. 5:

Übersicht zur Stratigraphie der mittleren Kreide für Mitteleuropa (zusammengestellt unter Berücksichtigung von AMÉDRO 2008, INTERNATIONAL COMMISSION ON STRATIGRAPHY 2015, 2019, JARVIS et al. 2001, KAPLAN, 2011a, 2011b, KENNEDY et al. 2004, KENNEDY et al. 2005, 2017, KENNEDY & WALASZCZYK 2004, LAMOLDA et al. 2014, LEHMANN et al. 2008, MUTTERLOSE 1997, NIEBUHR et al. 2000, OGG & HINNOV 2012, SPAETH 2000, TRÖGER & CHRISTENSEN 1991, TRÖGER & NIEBUHR 2014, WALASZCZYK & COBBAN 2006, WALASZCZYK et al. 2010, WIESE et al. 2009, WILMSEN 2007, 2012, WILMSEN & VOIGT 2006, WOOD et al. 2004)

Fig. 5:  
Overview of the middle Cretaceous deposits for Central Europe (composed in consideration of AMÉDRO 2008, JARVIS et al. 2001, INTERNATIONAL COMMISSION ON STRATIGRAPHY 2015, 2019, KAPLAN, 2011a, 2011b, KENNEDY et al. 2004, KENNEDY et al. 2005, 2017, KENNEDY & WALASZCZYK 2004, LAMOLDA et al. 2014, LEHMANN et al. 2008, MUTTERLOSE 1997, NIEBUHR et al. 2000, OGG & HINNOV 2012, SPAETH 2000, TRÖGER & CHRISTENSEN 1991, TRÖGER & NIEBUHR 2014, WALASZCZYK & COBBAN 2006, WALASZCZYK et al. 2010, WIESE et al. 2009, WILMSEN 2007, 2012, WILMSEN & VOIGT 2006, WOOD et al. 2004)

	Cenoman	Turon			Coniac
		unteres	mittleres	oberes	
Brk Jäw 11507/2006					
Brk Jäw 13906/2014				?	
Brk Jäw 14799/2011				?	
Brk Jäw 14800/2011 (A)					
Brk Jäw 14800/2011 (B)	(*)			?	
Brk Jäw 14810/2011					?
Brk Jäw 16301/2016		?		?	

Tab. 6a: Biostratigraphische Einstufung der untersuchten Kernmärsche aus dem Raum Südost-Brandenburg

(\* = cenomane Geisterfauna im Unter- bis Mittel-Turon; Details siehe Text)

Tab. 6a: Biostratigraphic determination of the investigated drilling cores from southeastern Brandenburg

(\* = Cenomanian ghost-fauna in Lower to Middle Turonian strata; for details see text)

kann als Rotpläner-Fazies interpretiert werden und liefert einen weiteren Hinweis für die Präzisierung der stratigraphischen Position des Abschnittes (B) in das höhere Unter-Turon bis Mittel-Turon. Zudem ist damit das primäre Vorhandensein obercenomaner Sedimente im Areal nachgewiesen.

Die zwei untersuchten Proben der Bohrung Brk Jäw 14810/2011 lieferten an Plankton unter anderem: *Whiteinella archaeocretacea*, *Whiteinella paradubia* und *Marginotruncana marginata*, was biostratigraphisch eine Zuordnung zum Turon bis möglicherweise Unter-Coniac nahelegt. *Marginotruncana marginata* schließt dabei eine Position älter als der Grenzbereich Mittel-/Ober-Turon aus. Biostratigraphisch ergibt sich für ein gemeinsames Auftreten der drei Taxa das Zeitfenster hohes Mittel-Turon bis Ober-Turon (möglicherweise bis Unter-Coniac).

Die geringdiverse planktonische Foraminiferen-Fauna der Bohrung Brk Jäw 16301/2016 (vgl. Abb. 4) wird von Taxa der Hedbergellidae dominiert. Zu diesen treten lediglich in Probe Jäw 16301/2016-01 wenige gekielte Formen hinzu (*Dicarinella*, *Marginotruncana*). Auffällig ist das Auftreten von biserialen planktonischen Formen (*Planoheterohelix*). Der lediglich geringmächtige Bohrkernabschnitt (2 Kernmärsche) lässt sich biofaziell in drei Intervalle gliedern: Der jüngste Kernabschnitt der Bohrung (Probe 1) belegt aufgrund des Auftretens von *Whiteinella archaeocretacea*

höchstes Cenoman bis Turon; durch *Dicarinella imbricata* kann höchstes Cenoman bis tiefstes Turon ausgeschlossen werden. Während *Marginotruncana renzi* ab dem Mittel-Turon auftritt, kommt *Whiteinella brittonensis* vom Unter- bis Ober-Turon vor und könnte nach TRÖGER & WEJDA (1998) noch bis ins Unter-Coniac reichen. Diesem jüngsten Kernabschnitt kann somit eine biostratigraphische Position im Mittel- bis Ober-Turon (möglicherweise ab höchstem Unter-Turon bis tiefes Unter-Coniac) zugewiesen werden. Der mittlere Kernabschnitt (Proben Jäw 16301/2016-02, -03) lässt mit *Whiteinella baltica* und *Planoheterohelix reussi* lediglich eine stratigraphische Einordnung vom obersten Cenoman bis in das Unter-Santon zu. Der tiefste Abschnitt repräsentiert mit *Whiteinella archaeocretacea* und *Whiteinella baltica* erneut ein Turon-Alter. Obgleich die beiden tieferen Kernabschnitte biostratigraphisch nicht sehr präzise eingestuft werden können, wird aufgrund des geringmächtigen Beprobungsintervalls sowie des enthaltenen Aufarbeitungs- und Rutschungshorizontes die gesamte präkänozoische Kernstrecke der Bohrung Brk Jäw 16301/2016 dem Mittel- bis Ober-Turon zugeordnet.

## 4.2 Nord-Brandenburg

Das bearbeitete Probenmaterial stammt aus Kernstrecken zweier Kartierungsbohrungen, welche ca. 10 km nordöstlich

Templin (Klaushagen) bzw. ca. 5 km nordwestlich Rheinsberg (Zechlinerhütte) abgeteuf wurden (Abb. 2): Klaushagen Kb Khg 1/64 und Zechlinerhütte Kb Zlh 1/65. Außer der hier präsentierten Mikrofauna führen die Kernstrecken beider Bohrungen Makrofossilien, deren taxonomische Bestimmung zusätzliche Daten für biostratigraphische Einstufungen lieferte.

#### 4.2.1 Fazielle Aspekte

Die beprobten Intervalle der untersuchten Kernstrecken aus Nord-Brandenburg werden hauptsächlich durch feinkörnige, kalkige und mergelige Lithotypen repräsentiert, untergeordnet treten tonigere Bereiche auf. Während in jüngsten und ältesten Einheiten matrixgestützte Gefüge dominieren, sind mittlere Bereiche durch das Auftreten Calcisphären-betonter Grain- bis Packstones auffällig. Foraminiferen, Calcisphären und Bioklasten sind generell die gefügeprägenden Komponenten: zumeist Wackestones, untergeordnet Pack-/Grainstones. Letztere fehlen im untersuchten, tieferen Beprobungsabschnitt und gehen generell mit dem Vorhandensein von Calcisphären einher (z. B. Proben Khg 1/64-30, -33, -36, -39, -43, -46; Zlh 1/65-34 bis -37, -39, -45). Mit der Calcisphären-Führung ist oft ein erhöhter Anteil an Bioklasten zu verzeichnen (z. B. Proben Khg 1/64-53; Zlh 1/65-40, -44, -45). Eine starke Bioklasten-Führung ist mitunter unmittelbar unter Calcisphären-führenden Lithotypen auffällig (z. B. Proben Khg 1/64-54, -55; Zlh 1/65-43, -50). Mudstones sind selten und (gemeinsam mit deutlich erhöhten Ton-Anteilen) auf den tieferen Beprobungsbereich beschränkt (z. B. Proben Khg 1/64-60 bis -62, Zlh 1/65-47). Im Beprobungsbereich der Bohrung Kb Zlh 1/65 fällt eine dunkle Sediment-Einschaltung von ca. 3 m Mächtigkeit auf (Probe Zlh 1/65-39), welche kaum Fossilien enthält. Bioturbation ist generell verbreitet und stellenweise auffällig intensiv. Wie in den Bohrungen Südost-Brandenburgs (Nordost-Lausitz) treten – z. T. häufig – auch in Nord-Brandenburg mit Bioturbation in Zusammenhang stehende, dunkle Schmitzen auf („Flaserung“, siehe oben). Lithologische Details können den in Kapitel 2 zitierten Projektberichten entnommen werden.

Die **Foraminiferen-Fauna** der Proben Nord-Brandenburgs schwankt hinsichtlich Taxonomie, Individuenzahl und Erhaltung mitunter beträchtlich. Aufgrund der Schwerpunktsetzung auf die biostratigraphische Aufgabenstellung erfolgte eine Fokussierung auf planktonische Foraminiferen. Wegen des in dieser Hinsicht begrenzten Potentials benthonischer Foraminiferen wurden diese fast ausschließlich auf Gattungsniveau bestimmt. Die in den Bohrungen Nord-Brandenburgs diagnostizierten Foraminiferen-Taxa und deren Vorkommen in den jeweiligen Proben sind in den Tab. 4a (Einlbl. II) und Tab. 4b (Einlbl. III) aufgelistet.

Die **Planktondiversität** ist in den beiden Bohrungen auf Gattungsniveau nahezu identisch (11 bzw. 9 Gattungen mit insgesamt 21 Arten). Auch hinsichtlich des taxonomischen Bestandes sind die Plankton-Faunen sehr ähnlich. Der ein-

zige erwähnenswerte Unterschied im Plankton besteht im Nachweis der sicheren Alb-Form *Ticinella primula* in den tiefsten Proben der Bohrung Kb Khg 1/64, wohingegen dieses stratigraphische Alter in der Bohrung Kb Zlh 1/65 mit *Microhedbergella* cf. *albiana* lediglich durch eine etwas unsichere „confer“-Bestimmung belegt ist (siehe Diskussion zur Biostratigraphie). Obgleich – wie in Südost-Brandenburg – auch in den Bohrungen Nord-Brandenburgs hedbergellide Foraminiferen das Plankton dominieren, sind im Gegensatz zur erstgenannten Region hier gekielte Taxa häufiger (*Dicarinella*, *Marginotruncana*, z. B. Probe Khg 1/64-26, -27). Rotaliporen (*Rotalipora cushmani*, *Parathalmanninella appenninica*, *Thalmanninella brotzeni*) treten in beiden Bohrungen, jedoch jeweils in einem äußerst engen Teufbereich auf (Khg 1/64-51, -53, -55-56; Zlh 1/65-40, -45, siehe Tab. 4a, 4b, Einlbl. II + III).

Das **Foraminiferen-Benthos** hingegen lieferte mit 34 Gattungen ein deutlich größeres Spektrum, wobei der Beprobungsbereich der Bohrung Kb Khg 1/64 mit 27 Gattungen eine etwas geringere Benthosdiversität aufweist als der, der Bohrung Kb Zlh 1/65 (35 Gattungen). Hierbei kann allerdings auch der unterschiedliche Beprobungsumfang je Bohrung einen gewissen, wenngleich sicher nicht entscheidenden methodischen Einfluss haben (bei vergleichbarer Mächtigkeit des Beprobungsintervalls wurden 40 Proben aus Kb Khg 1/64 genommen und 25 Proben aus Kb Zlh 1/65). Wie in Südost-Brandenburg, treten auch in den nordbrandenburgischen Abfolgen einige Taxa nahezu durchgehend auf (z. B. *Ammodiscus cretaceus*, *Arenobulimina preslii*, *Lenticulina* sp.). Zwischen beiden Bohrungen bestehen im Foraminiferen-Benthos jedoch nicht nur die genannten signifikanten qualitative Unterschiede in der Gattungsdiversität, sondern auch deutliche Differenzen in deren lithostratigraphischer Verbreitung: So sind über das gesamte, in seiner Mächtigkeit vergleichbare Beprobungsintervall in der Bohrung Kb Khg 1/64 mehr „Durchläufer“-Gattungen im Benthos vertreten (11–12, siehe Einlbl. II, Tab. 4a) als in der Bohrung Kb Zlh 1/65 (7–8, siehe Einlbl. III, Tab. 4b). Die unterschiedliche Beprobungsdichte dürfte hierbei weitgehend bedeutungslos sein.

Die **sonstige Fauna und Flora** (Begleitfauna) in den untersuchten Proben besteht zumeist aus disartikulierten Resten geringer Größe. Aufgrund des Erhaltungszustandes und wegen der fehlenden biostratigraphischen Relevanz wurden diese Biota nicht näher analysiert. Lithostratigraphische Niveaus, in denen Calcisphären (Phytoplankton-Zysten) auftreten, sind – besonders in den mittleren Beprobungsabschnitten beider untersuchten Bohrungen – auffallend häufig. Auch sind durch Calcisphären gestützte Gefüge (Calcisphären-Packstones und -Grainstones) im Vergleich zu den präkänozoischen Kernstrecken Südost-Brandenburgs deutlich öfter anzutreffen (z. B. Proben Khg 1/64-39, -43, -44, Zlh 1/65-33 bis -37, -39 bis -42, -44 und -45). Bivalvia (Muscheln) wurden in Dünnschliffen als Schalenfragmente häufig nachgewiesen, oft in Form charakteristischer Inoceramen-Schalenprismen. Auch am Bohrkern sind sowohl

Muschelbruch als auch komplette Muschelklappen immer wieder zu beobachten (vgl. Einbl. III, Tab. 5 – Makroforamsilien). Als weitere Mollusken wurden Belemnitida (Cephalopoda) ausschließlich im tiefsten Beprobungsintervall der Bohrung Kb Zlh 1/65 in Form mehrerer Rostren nachgewiesen (Probe Zlh 50-1/65: *Neohibolites oxycaudatus*). Ebenfalls in sehr vielen Proben vertreten (jedoch in relativ geringer Individuenzahl) sind Ostracoda (Arthropoda). Sie sind fast immer glattschalig (selten ornamentiert) und dem Nektobenthos zuzuordnen. Ihre Diversität ist gering. Stachelhäuter (Echinodermata) wurden zumeist als isolierte Echinozoa-Stachel in Dünnschliffen beobachtet. Vereinzelt sind isolierte Reste (Schuppen, Knöchelchen, Zähne) von Knochenfischen (Osteichthyes) feststellbar. Diese Biogene sind häufig abgerollt (allochthon) und lassen sich nicht näher zuordnen. Mitunter sind Porifera (Schwämme) in Form nicht näher bestimmbarer, isolierter Monaxone in Dünnschliffen zu beobachten. Bryozoa (Tentaculata) treten äußerst selten, vor allem in Dünnschliffen, als sehr kleinstückig gebrochene Reste von Zoarien auf. In einem Fall wurde ein zweiklappig erhaltener, juveniler Vertreter der Brachiopoda (Tentaculata) im Dünnschliff beobachtet. Ichnia (von Organismen erzeugte Spuren) sind zum Teil nicht selten – Bioturbation ist ein weit verbreitetes Phänomen in den Dünnschliffen und Kernstücken der untersuchten Bohrungen. Allerdings lassen die zumeist schwach definierten Strukturen keine nähere Bestimmung zu.

## Interpretation

Die Foraminiferen-Mikrofauna sowie die der Ostrakoden aus den untersuchten Kernstreckenabschnitten der Bohrungen sind im Wesentlichen als autochthon anzusehen. Die mitunter gut erhaltenen Muscheln sind stets einklappig erhalten, jedoch kaum aufgearbeitet, was auf weitgehende Autochthonie bzw. Parautochthonie hindeutet; dies trifft ebenfalls auf einen zweiklappig erhaltenen Brachiopoden zu. Auch muss aufgrund des verbreiteten Auftretens von Inoceramen-Schalenprismen in den Karbonaten zusätzlich auch von einem signifikanten allochthonen Anteil an Muschel-Schalenresten ausgegangen werden. Auch die sonstige Fossilführung aus disartikulierten Schwamm-Spiculae, Echinodermaten-Skleriten, Bryozoen-Zoarien, Knochenfischen und Belemniten unterlag Umlagerungen und einer aufgrund des Korngrößenspektrums anzunehmenden Transportselektion.

Die Foraminiferen-Fauna enthält teufenabhängig sowohl umfangreiches Benthos als auch stark vertretenes Plankton. Generell sind in den beiden Bohrungen Nord-Brandenburgs Abschnitte mit Foraminiferenplankton-Minima häufiger als solche mit deren Maxima. Vor allem im mittleren Beprobungsabschnitt beider Bohrungen ist eine partienweise deutliche Dominanz planktonischer Foraminiferen zu beobachten. Plankton-Minima gehen in den meisten Fällen mit einem Anstieg des Foraminiferen-Benthos einher. Pack- und Grainstones von Calcisphären sind zum Teil mit Maxima

an Foraminiferen-Plankton verbunden. Calcisphären hingegen repräsentieren ausschließlich planktonische Elemente. Während die wenigen Knochenfisch- und Belemniten-Reste dem Nekton zugehörig sind, repräsentieren die sonstigen disartikulierten Metazoen-Reste ein zumeist sessiles Benthos.

Die paläontologischen Belege weisen auf offenmarine Faziesräume mit normalmariner Salinität hin. Die festgestellten Schwankungen hinsichtlich Faunenspektrum und Faundiversität werden vor allem als Ergebnis moderater lateraler Verlagerungen von Faziesbereichen interpretiert. Es fällt auf, dass die Sedimente – insbesondere im Vergleich mit den Ergebnissen der Bohrungen Südost-Brandenburgs – matrixärmer sind; komponentengestützte Gefüge sind häufiger und der Karbonat-Gehalt ist oftmals höher. Fazial sind die Sedimentationsräume der angetroffenen Karbonat-Lithotypen und Faunen dem medialen bis äußeren neritischen bis hemipelagischen Schelf zuzuordnen.

Als Ursachen der erwähnten Fazieschwankungen sind vor allem moderate Schwankungen des Meeresspiegels zu sehen. Wo diese stärker ausfallen, sind Aufarbeitungserscheinungen sowie Geisterfaunen zu beobachten (Bohrung Kb Zlh 1/65, siehe Abschnitt 4.2.2 – Biostratigraphie). Hinweise auf Flachwasserverhältnisse oder Küstennähe wurden nicht beobachtet. Wie für die Ergebnisse Südost-Brandenburgs lassen sich auch hier über den gesamten Sedimentationszeitraum hinweg vollmarine, warme Ablagerungsbedingungen meso- bis eutropher, niedrigerenergetischer, distaler Schelfbereiche annehmen.

### 4.2.2 Biostratigraphische Einstufung (vgl. Abb. 5)

Die beprobte Kernstrecke der Bohrung Kb Khg 1/64 schließt nach Foraminiferen-Biostratigraphie ein Profil vom Coniac bis in das Alb auf (Tab. 6b). Makropaläontologische Untersuchungen an inoceramiden Muscheln (Bestimmungen durch K.-A. Tröger, TU Freiberg) flankieren die biostratigraphischen Einordnungen, weisen jedoch deutliche Lücken auf, welche aber durch die mikropaläontologischen Befunde in großem Umfang geschlossen werden konnten. Die drei jüngsten Kernbeprobungsintervalle wurden lediglich zur biostratigraphischen Orientierung in größeren Abständen beprobt.

Das Probenintervall 448,70–482,70 m führt die bereits im oberen Mittel-Turon einsetzende *Marginotruncana marginata* sowie *Protostensioeina* sp., eine Gattung, welche zwar bereits im Ober-Turon erscheint und sich bis in das Mittel-Santon erstreckt, in der europäischen Kreide jedoch im Coniac weit verbreitet ist. In der Probe Khg 1/64-24 tritt neben letztgenanntem Taxon die benthonische Foraminifere *Pyrulinooides acuminatus* auf, die auf die höhere Kreide beschränkt ist und in Nordwest- und Nord-Deutschland erst ab Mittel-Coniac erscheint. Da die nachgewiesenen *Protostensioeina* eine ausgeprägte Ornamentierung aufweisen (Reduktion bei stratigraphisch jüngeren Formen) und zu-

dem *Dicarinella imbricata* und *Whiteinella baltica* zur Beleitfauna gehören, ist ein jüngeres stratigraphisches Alter als Coniac nicht plausibel. Eine biostratigraphische Position des Beprobungsintervalls innerhalb des mittleren bis möglicherweise höheren Coniac ist daher sehr wahrscheinlich.

Das Probenintervall 540,40–573,00 m führt planktonische Foraminiferen, welche auf das Turon beschränkt sind (*Dicarinella hagni*) bzw. erst in dessen höherem Abschnitt einsetzen (*Marginotruncana marginata*). Ober-Turon (möglicherweise höheres Mittel-Turon) ist damit für diesen Kernbereich gesichert.

Das Probenintervall 620,00–653,00 m lieferte nahezu keine planktonische Foraminiferen-Fauna; die wenigen Reste sind stratigraphisch nicht aussagekräftig. Die Einstufung in das mittlere bis obere Turon wurde aufgrund der über- und unterlagernden Mikrofaunen vorgenommen.

Die nachfolgenden Kernbeprobungsabschnitte im Teufenbereich 701,20–790,20 m wurde enger beprobt und lieferten eine höhere biostratigraphische Auflösung. Das Probenintervall 701,20–718,80 m führt dabei eine Vielzahl planktonischer Taxa, welche erst mit Beginn oder im Verlauf des Turon einsetzen, sowie solche, die im höheren oder zum Ende des Turon aussetzen. Insbesondere das überlappende Auftreten von *Praeglobotruncana stefani* (bis einschließlich Mittel-Turon) und *Muricohedbergella* cf. *flandrini*

(ab Mittel-Turon) grenzen das biostratigraphische Fenster auf Mittel-Turon ein. Inoceramide Muscheln der *lamarcki*-Gruppe aus diesem Teufenbereich bestätigen diese Einstufung.

Im Probenintervall 724,80–738,40 m weist die Foraminiferen-Fauna undifferenziert auf ein Turon-Alter hin. Allerdings wurde bei 735,50 m *Mytiloides labiatus* nachgewiesen, wodurch sich der genannte Zeitraum auf das höhere Unter-Turon eingrenzen lässt.

Das Probenintervall 738,40–756,10 m weist erneut kaum Plankton auf; die wenigen Formen beinhalten aber bei 745,30 m *Dicarinella hagni*, welche Turon anzeigt. Das Auftreten von *Planoheterohelix ?moremani* im tieferen Abschnitt des Beprobungsintervalls deutet auf den eher mittleren bis tieferen Bereich des Turon hin. Makrofossilien wurden nicht gefunden.

Das Probenintervall 756,10–758,85 m lieferte bei 756,55 m *Muricohedbergella* cf. *kyproma* (oberstes Cenoman bis unterstes Turon) und unmittelbar darunter (bei 756,90 m) zahlreiche Exemplare von *Rotalipora cushmani*, der sehr charakteristischen Indexform des höheren Mittel- bis Ober-Cenoman (*cushmani*-Zone). Die in diesem Bereich ebenfalls auftretenden inoceramiden Muscheln sind nicht eindeutig und könnten nach den Bestimmungen von K.-A. Träger eventuell Turon anzeigen. Die Eindeutigkeit des mikropa-

	Alb			Cenoman			Turon			Coniac
	unteres	mittleres	oberes	unteres	mittleres	oberes	unteres	mittleres	oberes	
Teufe Probenintervalle	Kb Khg 1/64									
448,70 – 482,70 m										
540,00 – 573,00 m										
620,00 – 653,00 m										
701,20 – 718,80 m										
724,80 – 738,40 m										
738,40 – 756,10 m										
756,10 – 758,85 m					?					
761,85 – 774,40 m										
775,35 – 790,20 m										
Teufe Probenintervalle	Kb Zlh 1/65									
520,30 – 520,39 m								?		
670,15 – 670,53 m								?		?
683,21 – 723,02 m										
748,20 – 748,28 m					?					
752,75 – 752,84 m										
761,43 – 783,43 m										

Tab. 6b: Biostratigraphische Einstufung der untersuchten Probenintervalle aus dem Raum Nord-Brandenburg (für Details siehe Text)

Tab. 6b: Biostratigraphic determination of the investigated sample intervals from northern Brandenburg (for details see text)

läontologischen Befundes (Ober-Cenoman) ist hier jedoch deutlich präziser.

Probenintervall 761,85–774,40 m führt im Bereich 762–765 m *Thalmanninella brotzeni*, ein Taxon, welches an der Basis des Cenoman einsetzt und bis in das Ober-Cenoman (*cushmani*-Zone) reicht. Das gleichzeitige Auftreten von *Parathalmanninella* cf. *appenninica* deutet darauf hin, dass mittleres bis unteres Cenoman wahrscheinlich ist. Im Bereich von 762,40–767,55 m weisen inoceramide Muscheln (*Inoceramus crippi* cf. *crippi*) zusätzlich auf Unter-Cenoman, bei 773,10 m sogar auf den Grenzbereich Cenoman/Ober-Alb hin (*Actinoceramus* sp.).

Das tiefste untersuchte Probenintervall 775,35–790,20 m führt mit *Microhedbergella albiana* und *Ticinella?* sp. typisches Alb-Plankton, welches in seinem jüngeren Teil (bis 784,20 m) auch nach inoceramiden Muscheln in das Ober-Alb zu stellen ist (*Actinoceramus concentricus gryphaeoides*, *Actinoceramus* cf. *sulcatus*). Unterhalb dieses Niveaus findet sich mit *Ticinella primula* Foraminiferen-Plankton, welches im stratigraphischen Bereich vom mittleren Unter-Alb bis zum Grenzbereich Mittel-/Ober-Alb vorkommt und hier wahrscheinlich Mittel-Alb repräsentiert.

Die beprobte Kernstrecke der Bohrung Zechlinerhütte Kb Zlh 1/65 erschließt nach Foraminiferen-Biostratigraphie ein stratigraphisches Fenster vom Turon (und möglicherweise Coniac/Santon) bis in das obere Alb (Tab. 6b). Auch hier unterstützen makropaläontologische Daten von inoceramiden Muscheln (Bestimmung durch K.-A. Tröger, TU Freiberg) die stratigraphischen Einstufungen durch die Mikropaläontologie.

Die jüngsten Kernstreckenabschnitte (449,10–602,60 m) wurden zur biostratigraphischen Orientierung in größeren Abständen beprobt und lieferten kaum Plankton; lediglich bei einer Teufe von 520,30 m wurden planktonische Foraminiferen der Gattung *Marginotruncana* gefunden (*M. coronata*, *M. marginata*), welche im höheren Turon einsetzen und stratigraphisch bis in das Santon reichen. Typische post-oberturone Taxa (z. B. *Protostensioeina/Stensioeina*) wurden nicht nachgewiesen.

Im Teufenbereich 670,15–670,53 m ist die Plankton-Fauna reichhaltiger und führt neben *Marginotruncana coronata* und verschiedenen Hedbergelliden auch *Planoheterohelix reussi* und *Planoheterohelix moremani*. Letztgenannte Form reicht vom mittleren Turon (? und oberen Turon) bis in das Ober-Cenoman hinab, wodurch sich mikropaläontologisch insgesamt eine biostratigraphische Einstufung dieses Kernbereichs in das Mittel- bis untere Ober-Turon ergibt. Dies stimmt mit den makropaläontologischen Befunden (inoceramide Muscheln der *lamarcki*-Gruppe bei 670,53 m) überein.

Die stratigraphische Einstufung ins Mittel- und höhere Unter-Turon mittels inoceramider Muscheln (Vertreter der *la-*

*marcki*-Gruppe bei 720,61 m und der *mytiloides*-Gruppe bei 722,38 m) reicht bis zu einer Teufe von 722,38 m. Die Foraminiferen-Mikrofauna in diesen Abschnitt (bis 722,17 m) mit *Dicarinella imbricata*, *D.* cf. *hagni* und der etwa 2 m tiefer auftretenden *Whiteinella* cf. *brittonensis* unterstützt diese Zuordnung.

Bei Teufe 748,20 m wurden acht Exemplare der planktonischen Foraminifere *Rotalipora cushmani* (Indexfossil für höheres Mittel- und Ober-Cenoman) gefunden. Begleitend tritt mit *Praeglobotruncana delrioensis* eine weitere Cenoman-Form auf (stratigraphische Reichweite vom obersten Alb bis in das basale Turon). Das Auftreten dieser stratigraphisch wichtigen Taxa ist bemerkenswert, da 4,2 m tiefer mit inoceramiden Muscheln (*Mytiloides* sp. ex gr. *mytiloides/labiatius*) Makrobiota des Unter-Turons erscheinen! Deshalb muss eine Umlagerung von Mikrofossilien in Betracht gezogen werden. Jedoch ist mit diesen das ursprüngliche Vorhandensein obercenomaner Ablagerungen im Gebiet der Bohrung Kb Zlh 1/65 zweifelsfrei nachgewiesen.

Bis zur Teufe 761,43 m bleiben die Mikrofaunen der beprobten Bereiche biostratigraphisch unspezifisch (Alb bis Coniac). Von 761,43–770,18 m jedoch tritt neben den weitreichenden *Muricohedbergella delrioensis* und *M. planispira* das Taxon *Microhedbergella* cf. *albiana* auf, welches auf das Alb beschränkt ist. Bis zur Teufe von 783,43 m kommen mit *Parathalmanninella appenninica* und *Praeglobotruncana delrioensis* weitere Formen hinzu, die bereits im oberen Ober-Alb einsetzen. Unterhalb einer Teufe von 770,28 m ist die biostratigraphische Einstufung in das Ober-Alb zudem durch inoceramide Muscheln aus mehreren Horizonten gestützt (u. a. *Actinoceramus concentricus* cf. *gryphaeoides*, *Actinoceramus concentricus* cf. *parabolicus*).

## Zusammenfassung

Von acht Erkundungs- und Kartierungsbohrungen in Südost-Brandenburg (nordöstliche Lausitz) und Nord-Brandenburg wurden Karbonat- und Mergelproben zum Zwecke der biostratigraphischen Einstufung und paläoökologischen Zuordnung der Ablagerungsräume mikropaläontologisch und mikrofaziell untersucht. Die generell mikritischen Lithotypen lieferten trotz Rekrystallisationseffekte und diagenetischer Alteration aussagefähige Foraminiferen-Mikrofaunen sowie für das Gebiet Nord-Brandenburg zusätzlich relevante Makrobiota.

Das biostratigraphische Alter der untersuchten Kernstrecken Südost-Brandenburgs ist nach dem Auftreten planktonischer Foraminiferen generell dem Turon (tiefere Oberkreide) zuzuordnen; die stratigraphischen Positionen der Mikrofaunen der jeweiligen Kernstrecken aus diesem Gebiet unterscheiden sich dabei innerhalb dieses Zeitfensters nur geringfügig. Im Bereich des tieferen Turon deuten sich Umlagerungsprozesse an, in deren Verlauf Foraminiferen des (oberen Mittel- bis) Ober-Cenoman in jüngere Einhei-

ten (höheres Unter-Turon bis Mittel-Turon) als Geisterfauna eingetragen wurden. Mikrofaunenbilder und lithofazielle Merkmale weisen auf weitgehend ähnliche, vollmarine, niedrig-energetische Sedimentationsbedingungen innerhalb warmer, meso- bis eutropher, hemipelagischer Sedimentationsräume mit nur geringen lateralen Unterschieden hin (offener Schelf bis Schelfrand). Mit den seit 2002 erlangten Ergebnissen der Braunkohlenbohrungen Cottbus-Nord und Jänschwalde – und insbesondere mit den vorgestellten mikropaläontologischen Daten – konnte die Oberfläche des Präkänozoikums für die Nordost-Lausitz (GÖTHEL & GRUNERT 1996) präzisiert werden (Einbl. I, Abb. 1).

Das Material aus den Bohrungen Nord-Brandenburgs deckt nach Foraminiferen-Plankton ein stratigraphisches Intervall vom Mittel-Alb (obere Unter-Kreide) bis zum Coniac (mittlere Ober-Kreide) ab. Inoceramide Muscheln wurden für das Zeitfenster Ober-Alb bis Turon nachgewiesen und waren insbesondere für den Beleg von Unter-Turon wichtig. Große Teile des Cenoman sowie Teile des Unter-Turon fehlen. Mitunter treten auch hier cenomane Geisterfaunen im Unter-Turon auf. Fazial lassen sich die untersuchten Kernbereiche Nord-Brandenburgs in ihren ältesten und jüngsten Teilen einem offenen Schelfbereich, in den mittleren Abschnitten einem eher medialen Schelfareal zuordnen. Generell entsprechen diese Faziesräume einer vollmarinen, niedrigerenergetischen, meso- bis eutrophen Warmwasserfazies. Insbesondere im mittleren Profilabschnitt (Unter- und Mittel-Turon) der untersuchten Kernstrecken bilden sich immer wieder kurzzeitige Meeresspiegelfluktuationen ab. Im Ober-Cenoman bis Unter-Turon weisen Organika-reiche Horizonte auf zeitweise Sauerstoff-defizitäre Bedingungen hin.

Mit den vorliegenden mikro- und makropaläontologischen Ergebnissen konnte der Beginn der Alb/Cenoman-Transgression in Nord-Brandenburg geklärt werden. Damit setzt dort der reflexionsseismische Horizont T2 im Mittel-Alb ein und greift über ein bereits salinartektonisch geprägtes Abtragungsgebiet. Unter-Alb und Apt sind im Gebiet der beiden untersuchten Kartierungsbohrungen nicht nachgewiesen (Abb. 2). In geringer Mächtigkeit sind sie unter dem Mittel-Alb erst in der West-Prignitz verbreitet. In Richtung Südosten wird die Alb/Cenoman-Transgression in Brandenburg immer jünger. Den Raum Eisenhüttenstadt (Kartierungsbohrung Grunow Kb GrunEh 1/61, GÖTHEL 2012b) erreicht sie im Ober-Alb an der Basis des Vraconne, dem obersten Abschnitt des Alb, der mit den FOD des Ammoniten *Mortoniceras fallax* definiert wird (Abb. 5) und dessen Wiedereinführung als étage Vraconnien von der Groupe Français du Crétacé diskutiert wird (AMÉDRO, 2008). In der nordöstlichen Lausitz setzt die Alb/Cenoman-Transgression dann erst mit dem *Aucellina/ultimus*-Event im basalen Unter-Cenoman ein. Damit wird in Brandenburg der reflexionsseismische Horizont T2 von Norden nach Südosten jünger und ist somit diachron.

## Summary

Carbonates and marls of eight prospecting and exploration drilling cores from southeastern Brandenburg (northeastern Lausitz region) and north Brandenburg were investigated in its micropalaeontology and facies for biostratigraphical and palaeoecological determination. Despite common recrystallization and diagenetic alteration, the generally micritic lithotypes delivered significant foraminiferan microfaunas and – for northern Brandenburg – additional macrofossils, too.

According to planktonic foraminifera the biostratigraphic age of the investigated drilling cores from southeastern Brandenburg is generally Turonian (lower Upper Cretaceous); stratigraphic differences between the drilling cores are of minor extent. For the lower Turonian some redepositional processes led to the appearance of (lower middle to) upper Cenomanian foraminiferan *gost-taxa* within younger strata (upper lower Turonian to middle Turonian). Both, microfauna and facies characters point to rather uniform fully marine, low-energy depositional conditions of a warm, mesotrophic to eutrophic, and hemipelagic realm (open shelf to shelf margin). Based on the results from the lignite exploration wells of Cottbus-North and Jänschwalde since 2002 and especially due to the here presented micropalaeontological data, the position of the pre-Cenozoic surface in northeastern Lausitz region could be specified.

The planktonic foraminiferan assemblages from north Brandenburg covers the biostratigraphic interval from the middle Albian (upper Lower Cretaceous) up to the Coniacien (middle Upper Cretaceous). Inoceramid bivalves occur from the upper Albian up to the Turonian, too, and are of special interest for the indication of strata of lower Turonian age. Large parts of the Cenomanian and lower Turonian are missing here. Cenomanian *gost-taxa* were observed again within the latter. The depositional facies conditions of the oldest and of the youngest portions of the north Brandenburg drilling cores can be characterized as open shelf areas, whereas the middle portions may rather point to medial shelf positions. Generally, the facies corresponds to fully marine, low-energy, mesotrophic to eutrophic warm-water conditions. Especially within the middle part of the sections (lower and middle Turonian) indications of temporary sea-level fluctuations could be observed. For the upper Cenomanian to lower Turonian some horizons rich in organic matter point to temporary oxygen deficiency.

The here presented micro- and macropalaeontological data enable the determination of the start of the Albian-Cenomanian transgression in northern Brandenburg. Accordingly, the seismic reflexion horizon T2 starts in the middle Albian and covers an erosional area already characterised by salinar tectonics. Lower Albian and Aptian is missing in the area of the two investigated mapping wells (Fig. 2), but, both are distributed with reduced thickness below the middle Albian of the western Prignitz area. To the Southeast

the Albian-Cenomanian transgression in Brandenburg gets even younger and it reaches the Eisenhüttenstadt area (mapping well Grunow Kb GrunEh 1/61, GÖTHEL 2012b) in the upper Albian (at the base of the Vraconean, the uppermost portion of the Albian that is defined by the FOD of the ammonite *Mortoniceras fallax* [Fig. 5]; the re-establishment of this stage is recently under discussion by the Groupe Français du Crétacé as “étage Vraconnien” [AMÉDRO 2008]). In the northeastern Lausitz region the Albian-Cenomanian transgression starts in the basal lower Cenomanian by the *Aucellina/ultimus* event. Accordingly, in Brandenburg the seismic reflexion horizon T2 gets younger from North to Southeast and is diachronous in nature.

### Danksagung

Für die Möglichkeit, die hier präsentierten Arbeiten durchführen zu können, für die Bereitstellung der Bohrkerne und die finanzielle Unterstützung der damit verbundenen Untersuchungen danken die Autoren dem Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR). Frau M. Sc. A. Förster und Herr M. Sc. T. Meischner (beide TU Bergakademie Freiberg) sei gedankt für die zeitaufwändige mikropaläontologische Labortätigkeit. Die Bestimmung der inoceramiden Muscheln nahm dankenswerterweise Herr Prof. Dr. K.-A. Tröger (†) vor, Fischreste bestimmte Herr Dr. I. Kogan (beide TU Bergakademie Freiberg). Herrn Dr. M. Magnus und Frau A. Obst (TU Bergakademie Freiberg) sei für die Herstellung von Dünnschliffen und für rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen gedankt. Herrn Dr. Alexander Malz (Landesanstalt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt) sei zu guter Letzt für seine Anregungen bei der Interpretation der Bruchtektonik im Rahmen einer fruchtbaren, länderübergreifenden Zusammenarbeit gedankt.

**Tafel 1: Planktonische Foraminiferen Südost-Brandenburgs**  
**Plate 1: Planktonic foraminifera of southeast Brandenburg**

Probenbezeichnungen für Braunkohlebohrungen Jänschwalde: Jäw [Bohrungsnummer]/[Jahr]-[Probennummer];

Maßstabsbalken: 50 µm

Sample identification for lignite drills Jänschwalde: Jäw [drill no.]/[year]-[sample no.]; scale bars: 50 µm

1 – 10 *Muricohedbergella delrioensis* (Carsey, 1926); (1) Jäw 16301/2016-04, Ventralansicht / ventral view; (2) Jäw 16301/2016-01, Ventralansicht / ventral view; (3) Jäw 14799/2011-02, Ventralansicht / ventral view; (4) Jäw 16301/2016-01, Ventralansicht / ventral view; (5) Jäw 11507/2006-01, Steinkern / steinkern, Ventralansicht / ventral view; (6) Jäw 11507/2006-01, Steinkern / steinkern, Dorsalansicht / dorsal view; (7) Jäw 14799/2011-04, Ventralansicht / ventral view; (8) Jäw 14799/2011-03, Ventralansicht / ventral view; (9) Jäw 14799/2011-02, Dorsalansicht / dorsal view; (10) Jäw 13906/2014-03, Ventralansicht / ventral view

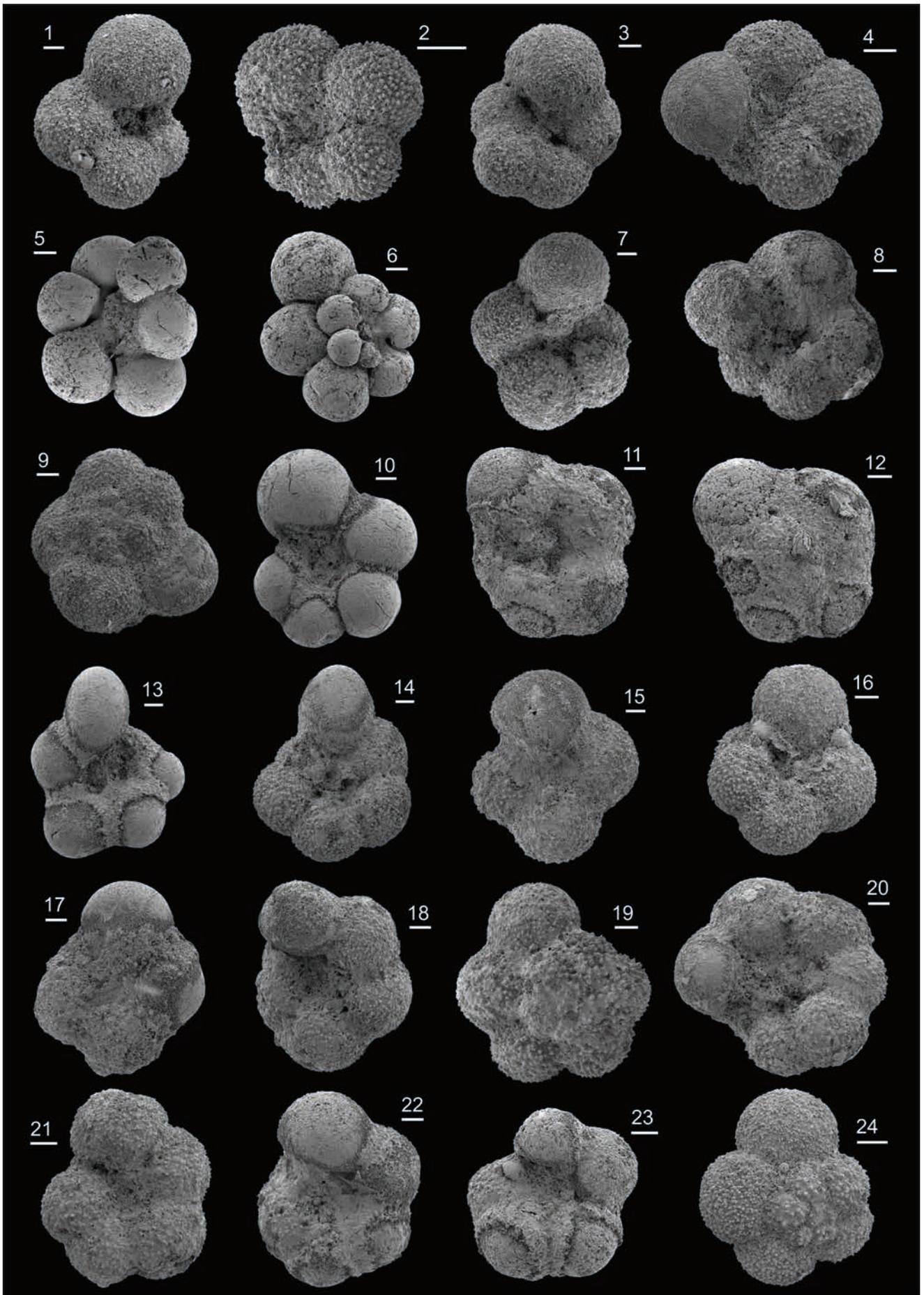
11 – 12 *Muricohedbergella cf. flandrini* (Porthault, in Donze et al., 1970); (11) Jäw 14799/2011-03, Ventralansicht / ventral view; (12) Jäw 14799/2011-03, Ventralansicht / ventral view

13 – 14 *Clavihedbergella simplex* (Morrow, 1934); (13) Jäw 14799/2011-03, Ventralansicht / ventral view; (14) Jäw 14799/2011-04, Ventralansicht / ventral view

15 – 17 *Whiteinella baltica* Douglas & Rankin 1969; (15) Jäw 16301/2016-02, Ventralansicht / ventral view; (16) Ventralansicht / ventral view, Jäw 16301/2016-04, Ventralansicht / ventral view; (17) Jäw 11507/2006-02, Ventralansicht / ventral view

18 – 19 *Whiteinella brittonensis* (Loeblich & Tappan, 1961); (18) Jäw 14810/2011-01, Ventralansicht / ventral view; (19) Jäw 13906/2014-02, Dorsalansicht / dorsal view

20 – 24 *Whiteinella archaeocretacea* Pessagno 1967; (20) Jäw 14799/2011-04, Ventralansicht / ventral view; (21) Jäw 16301/2016-04, Ventralansicht / ventral view; (22) Jäw 14800/2011-04, Ventralansicht / ventral view; (23) Jäw 14799/2011-03, Ventralansicht / ventral view; (24) Jäw 16301/2016-04, Dorsalansicht / dorsal view



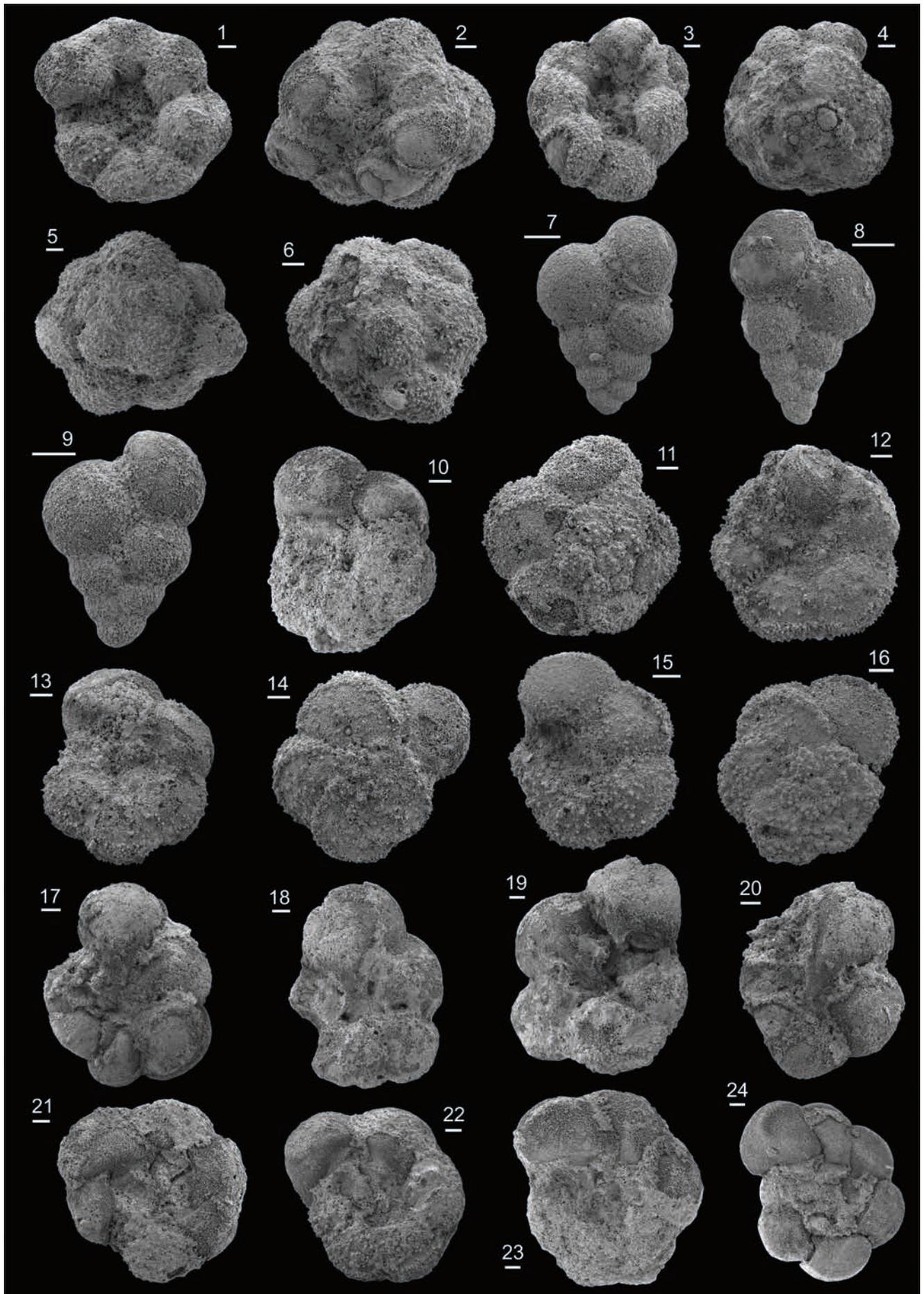
**Tafel 2: Planktonische Foraminiferen Südost-Brandenburgs**  
**Plate 2: Planktonic foraminifera of southeast Brandenburg**

Probenbezeichnungen für Braunkohlebohrungen Jäw [Bohrungsnummer]/[Jahr]-[Probennummer];

Maßstabsbalken: 50 µm

Sample identification for lignite drills Jänschwalde: Jäw [drill no.]/[year]-[sample no.]; scale bars: 50 µm

1 – 6 *Whiteinella paradubia* (Sigal, 1952); (1) Jäw 14800/2011-02, Ventralansicht / ventral view; (2) Jäw 14799/2011-03, Ventralansicht / ventral view; (3) Jäw 14800/2011-02, Ventralansicht / ventral view; (4) Jäw 14800/2011-02, Dorsalansicht / dorsal view; (5) Jäw 13906/2014-02, Dorsalansicht / dorsal view; (6) Jäw 14799/2011-03, Dorsalansicht / dorsal view  
 7 – 9 *Planoheterohelix reussi* (Cushman, 1938); (7) Jäw 16301/2016-01; (8) Jäw 16301/2016-01; (9) Jäw 16301/2016-01  
 10 – 11 *Dicarinella cf. hagni* (Scheibnerova, 1962); (10) Jäw 11507/2006-02, Ventralansicht / ventral view; (11) Jäw 14800/2011-01, Dorsalansicht / dorsal view  
 12 – 13 *Dicarinella imbricata* (Mornod, 1950); (12) Jäw 16301/2016-01, Ventralansicht / ventral view; (13) Jäw 16301/2016-01, Ventralansicht / ventral view  
 14 – *Dicarinella cf. imbricata* (Mornod, 1950), Dorsalansicht / dorsal view, Jäw 14800/2011-01  
 15 – 16 *Marginotruncana renzi* (Gandolfi, 1942); (15) Jäw 16301/2016-01, Ventralansicht / ventral view; (16) Jäw 16301/2016-01, Dorsalansicht / dorsal view  
 17 – 18 *Rotalipora cushmani* (Morrow, 1934); (17) Jäw 14800/2011-04, Ventralansicht / ventral view; (18) Jäw 14800/2011-04, Ventralansicht / ventral view  
 19 – 20 *Rotalipora cf. cushmani* (Morrow, 1934); (19) Jäw 14800/2011-04, Ventralansicht / ventral view; (20) Jäw 14800/2011-04, Ventralansicht / ventral view  
 21 – 24 *Marginotruncana marginata* (Reuss, 1845); (21) Jäw 11507/2006-02, Ventralansicht / ventral view; (22) Jäw 11507/2006-02, Ventralansicht / ventral view; (23) Jäw 11507/2006-02, Ventralansicht / ventral view; (24) Jäw 11507/2006-02, Ventralansicht / ventral view



**Tafel 3: Benthonische Foraminiferen Südost-Brandenburgs**  
**Plate 3: Benthonic foraminifera of southeast Brandenburg**

Probenbezeichnungen für Braunkohlebohrungen Jänschwalde: Jäw [Bohrungsnummer]/[Jahr]-[Probennummer];

Maßstabsbalken: 100 µm

Sample identification for lignite drills Jänschwalde: Jäw [drill no.]/[year]-[sample no.]; scale bars: 100 µm

1 – 3 *Ammodiscus cretaceus* (Reuss, 1845); (1) Jäw 14800/2011-01; (2) Jäw 14810/2011-01; (3) Jäw 16301/2016-01

4 – 5 *Ammodiscus peruvianus* (Berry, 1928); (4) Jäw 14810/2011-01; (5) Jäw 14799/2011-02

6 – *Glomospira* sp., Jäw 14799/2011-02

7 – 12 *Ataxophragmium depressum* (Perner, 1892); (7) Jäw 13906/2014-02; (8) Jäw 14799/2011-04; (9) Jäw 14800/2011-04; (10) Jäw 16301/2016-04; (11) Jäw 16301/2016-01; (12) Jäw 16301/2016-04

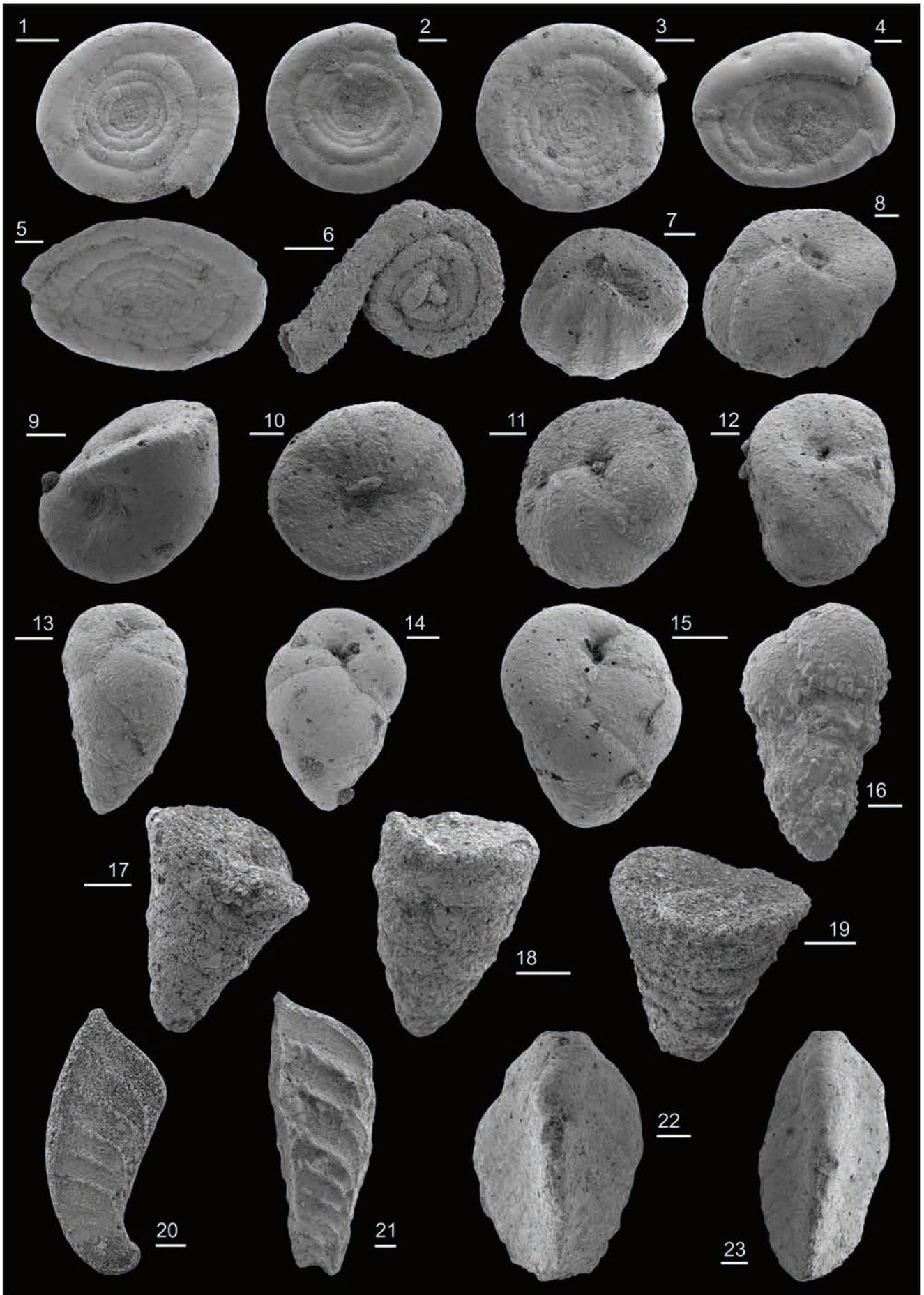
13 – 15 *Arenobulimina preslii* (Reuss, 1845); (13) Jäw 14799/2011-03; (14) Jäw 16301/2016-01; (15) Jäw 16301/2016-01

16 – *Dorothia* sp., Jäw 14800/2011-04.

17 – 19 *Marssonella trochus* (d'Orbigny, 1840); (17) Jäw 14800/2011-03; (18) Jäw 16301/2016-04; (19) Jäw 14810/2011-02

20 – 21 *Vaginulina* sp.; (20) Jäw 14800/2011-01; (21) Jäw 14810/2011-01

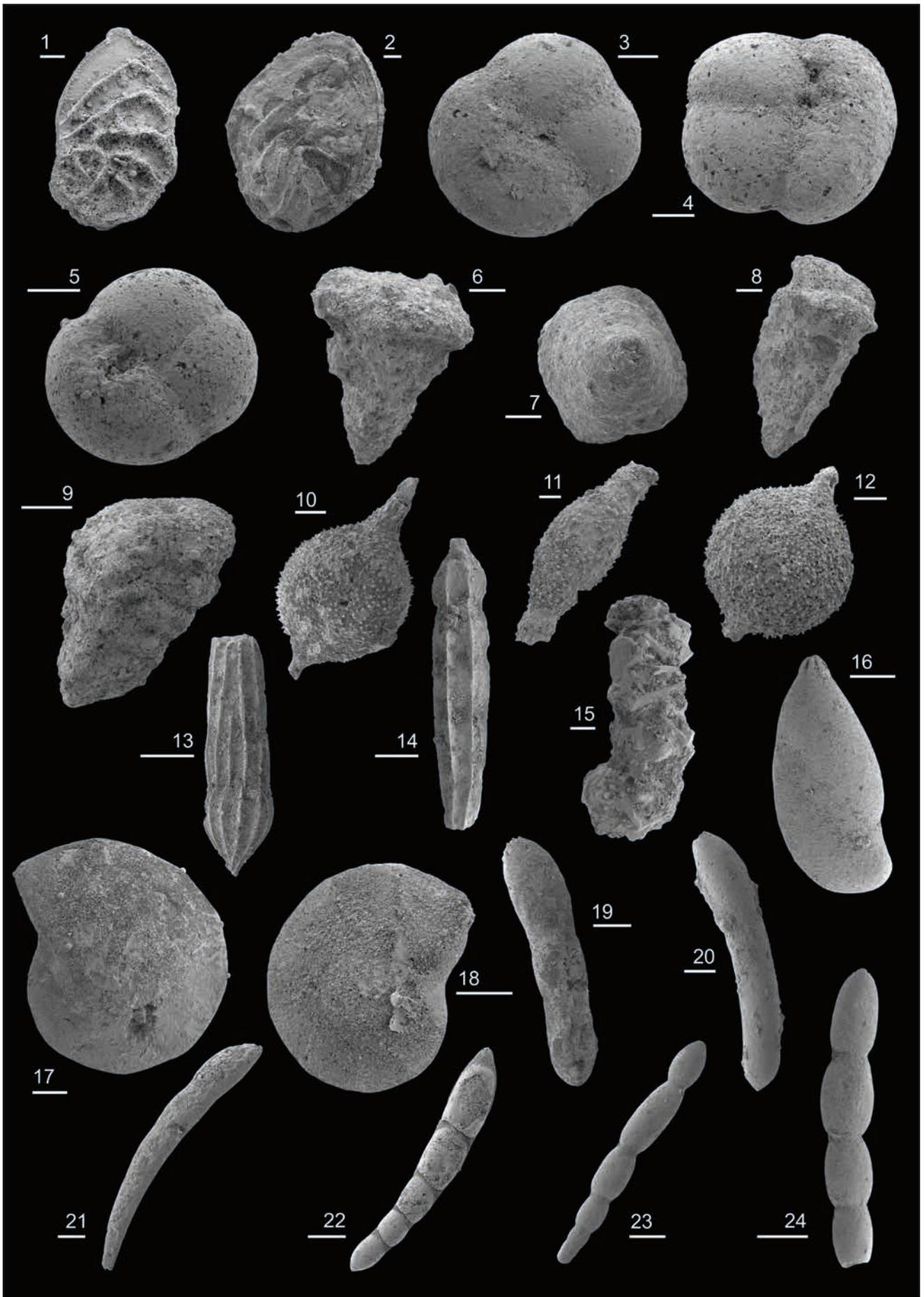
22 – 23 *Tritaxia pyramidata* (Reuss, 1863); (22) Jäw 13906/2014-02; (23) Jäw 14799/2011-04



**Tafel 4: Benthonische Foraminiferen Südost-Brandenburgs**  
**Plate 4: Benthonic foraminifera of southeast Brandenburg**

Probenbezeichnungen für Braunkohlebohrungen Jänschwalde: Jäw [Bohrungsnummer]/[Jahr]-[Probennummer];  
 Maßstabsbalken: 13 – 15, 19 – 24 = 200 µm, 1 – 12, 16 – 18 = 100 µm  
 Sample identification for lignite drills Jänschwalde: Jäw [drill no.]/[year]-[sample no.]; scale bars: 13 – 15,  
 19 – 24 = 200 µm, 1 – 12, 16 – 18 = 100 µm

- 1 – 2 *Neoflabellina rugosa* (d'Orbigny, 1840); (1) Jäw 11507/2006-02; (2) Jäw 14810/2011-01  
 3 – 5 *Eggerellina brevis* (d'Orbigny, 1840); (3) Jäw 11507/2006-01; (4) Jäw 11507/2006-02; (5) Jäw 14800/2011-04  
 6 – 8 *Gaudryina carinata* Franke 1914; (6) Jäw 14810/2011-01; (7) Jäw 14810/2011-01, Apikalansicht / apical view;  
 (8) Jäw 14810/2011-01  
 9 – *Gaudryina cretacea* Karrer 1870, Jäw 14799/2011-04  
 10 – 12 *Ramulina wrightii* Barnard 1972; (10) Jäw 14800/2011-03; (11) Jäw 14800/2011-04; (12) Jäw 14800/2011-03  
 13 – 14 *Pyramidulina* sp.; (13) Jäw 16301/2016-04; (14) Jäw 16301/2016-01  
 15 – *Ammobaculites* sp., Jäw 14799/2011-03  
 16 – *Astacolus compressus* (Cushman, 1917), Jäw 16301/2016-04  
 17 – 18 *Lenticulina rotulata* Lamarck 1804; (17) Jäw 14800/2011-04; (18) Jäw 16301/2016-01  
 19 – *Laevidentalina pseudonana* (Ten Dam, 1950), Jäw 13906/2014-02  
 20 – *Laevidentalina* cf. *oligostegia* (Reuss, 1845), Jäw 14810/2011-01  
 21 – 22 *Laevidentalina gracilis* (d'Orbigny, 1840); (21) Jäw 14800/2011-03; (22) Jäw 13906/2014-03  
 23 – 24 *Laevidentalina filiformis* (d'Orbigny, 1826); (23) Jäw 14800/2011-04; (24) Jäw 16301/2016-04



**Tafel 5: Benthonische Foraminiferen Südost-Brandenburgs**  
**Plate 5: Benthonic foraminifera of southeast Brandenburg**

Probenbezeichnungen für Braunkohlebohrungen Jänschwalde: Jäw [Bohrungsnummer]/[Jahr]-[Probennummer];

Maßstabsbalken: 1 – 13 = 200 µm, 14 – 24 = 100 µm

Sample identification for lignite drills Jänschwalde: Jäw [drill no.]/[year]-[sample no.]; scale bars: 1 – 13 = 200 µm, 14 – 24 = 100 µm

1 – 3 *Frondicularia* cf. *decheni* Reuss 1860; (1) Jäw 16301/2016-04; (2) Jäw 11507/2006-02; (3) Jäw 14799/2011-02

4 – *Frondicularia* cf. *inversa* Reuss 1844, Jäw 11507/2006-02

5 – 6 *Frondicularia mucronata* Reuss 1845; (5) Jäw 13906/2014-03; (6) Jäw 13906/2014-03

7 – 9 *Frondicularia angusta* (Nilsson, 1826); (7) Jäw 13906/2014-02; (8) Jäw 13906/2014-03; (9) Jäw 14810/2011-01

10 – 11 *Frondicularia verneuiliana* (d'Orbigny, 1840); (10) Jäw 13906/2014-03; (11) Jäw 14810/2011-01

12 – 13 *Frondicularia* cf. *lanceola* (Reuss, 1860); (12) Jäw 14800/2011-03; (13) Jäw 13906/2014-03

14 – 17 *Gavelinella cenomanica* (Brotzen, 1942); (14) Jäw 16301/2016-04; (15) Jäw 16301/2016-01; (16) Jäw 16301/2016-01; (17) Jäw 16301/2016-01

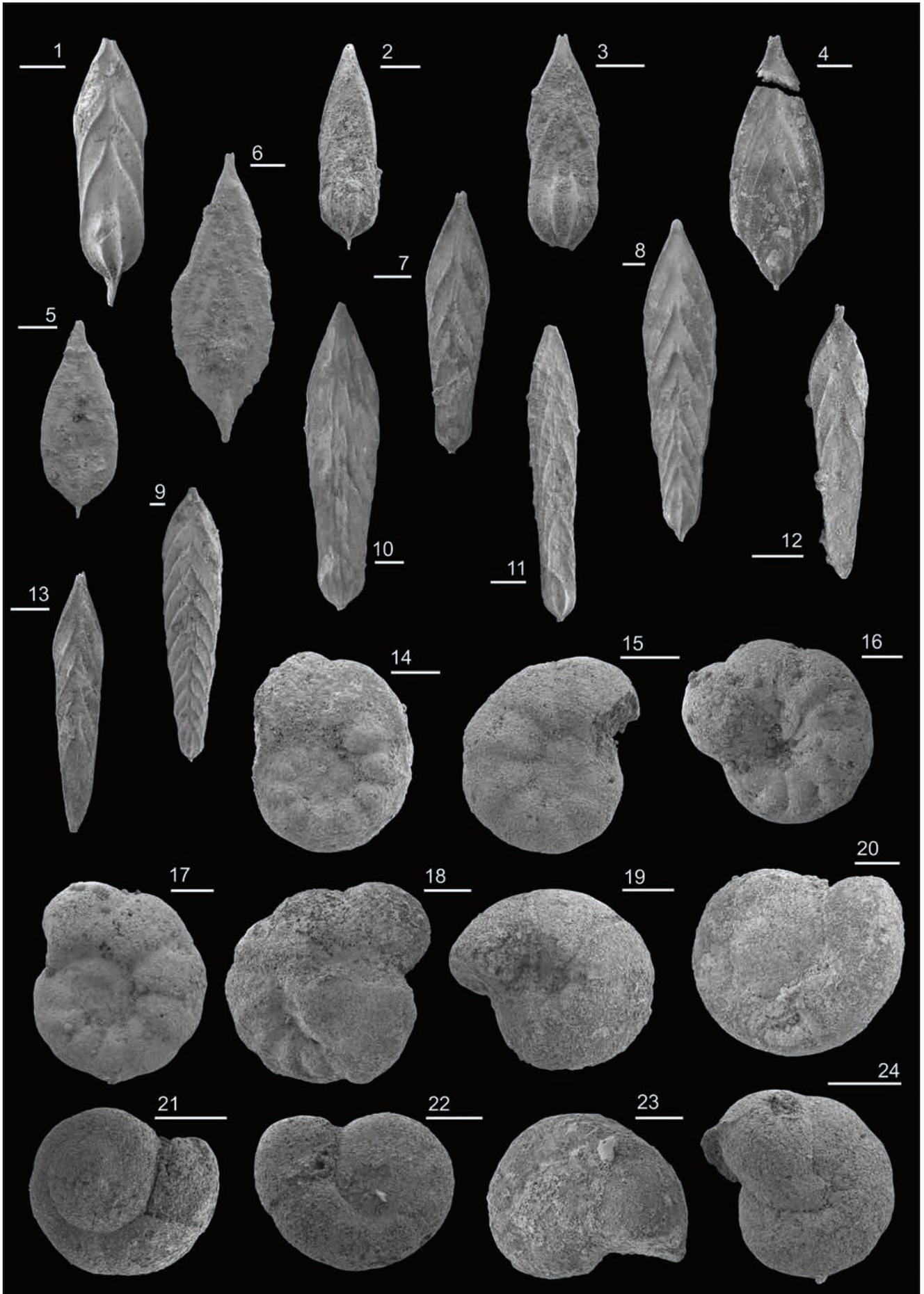
18 – *Gavelinella pertusa* (Marsson, 1878), Jäw 14799/2011-03

19 – 21 *Gyroidinoides umbilicatus* (d'Orbigny, 1840); (19) Jäw 11507/2006-01, Dorsalansicht; (20) Jäw 11507/2006-02, Ventralansicht / ventral view; (21) Jäw 16301/2016-01, Ventralansicht / ventral view

22 – *Gyroidinoides* sp., Jäw 16301/2016-01, Ventralansicht / ventral view

23 – *Gyroidinoides* sp., Jäw 11507/2006-02, Ventralansicht / ventral view

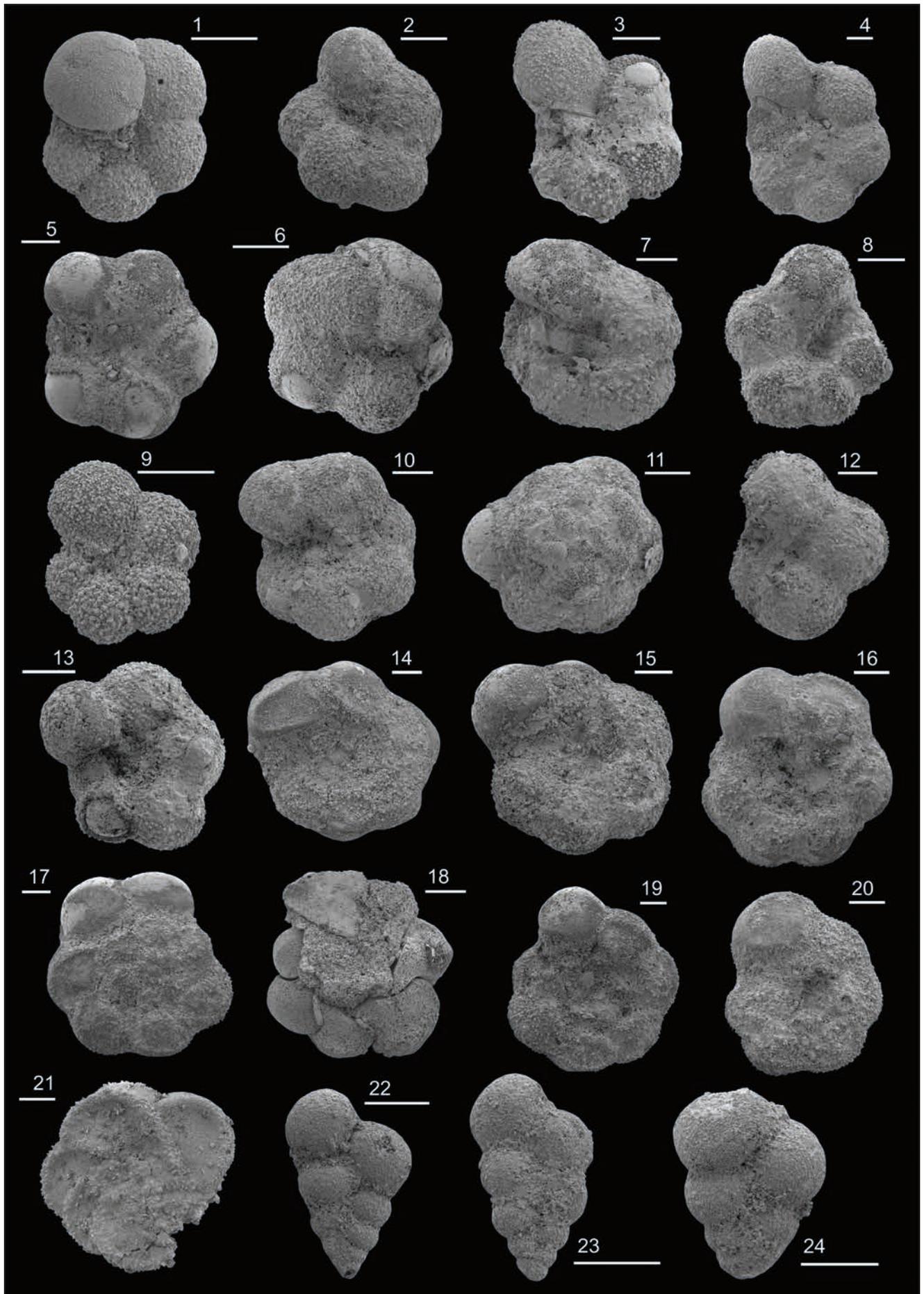
24 – *Gyroidinoides?* sp., Ventralansicht / ventral view, Jäw 16301/2016-01



**Tafel 6: Planktonische Foraminiferen Nord-Brandenburgs**  
**Plate 6: Planktonic foraminifera of north Brandenburg**

Probenbezeichnungen für Kartierungsbohrung Klaushagen: Khg 1/64-[Probennummer], für Kartierungsbohrung Zechlinerhütte: Zlh 1/65-[Probennummer]; Maßstabsbalken: 100 µm  
 Sample identification for mapping drill Klaushagen: Khg 1/64-[sample no.], for mapping drill Zechlinerhütte: Zlh 1/65-[sample no.]; scale bars: 100 µm

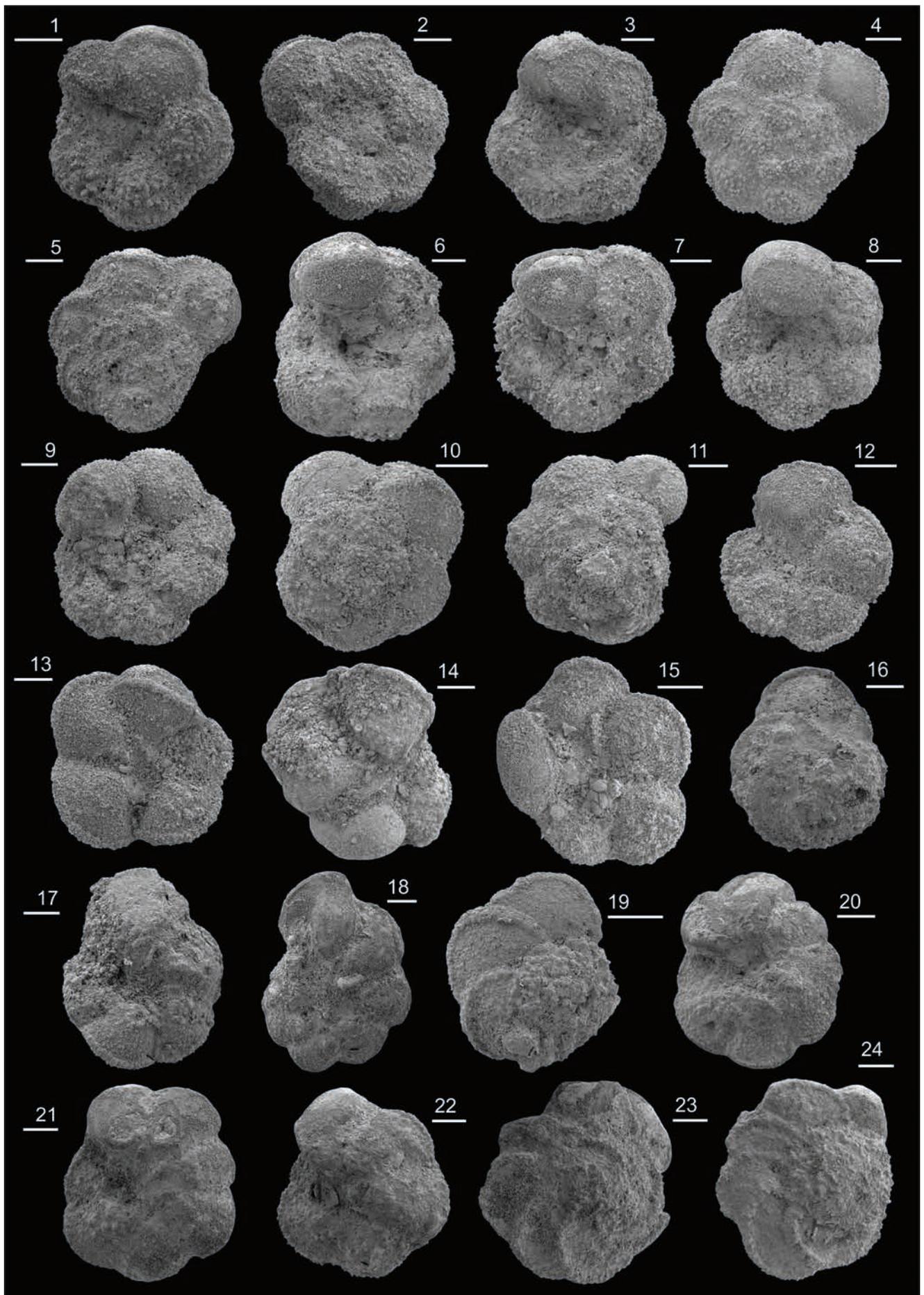
- 1 – 2 *Muricohedbergella delrioensis* (Carsey, 1926); (1) Zlh 1/65-40, Ventralansicht / ventral view; (2) Khg 1/64-54, Ventralansicht / ventral view  
 3 – 4 *Muricohedbergella flandrini* (Porthault, in Donze et al., 1970); (3) Khg 1/64-38, Ventralansicht / ventral view; (4) Zlh 1/65-38, Ventralansicht / ventral view  
 5 – *Muricohedbergella planispira* (Tappan, 1940), Khg 1/64-31, Ventralansicht / ventral view  
 6 – *Muricohedbergella* cf. *kyphoma* (Hasegawa, 1999), Khg 1/64-52, Ventralansicht / ventral view  
 7 – *Praeglobotruncana stephani* (Gandolfi, 1942), Khg 1/64-34, Ventralansicht / ventral view  
 8 – *Microhedbergella albiana* (Boudagher-Fadel et al., 1996), Khg 1/64-60, Ventralansicht / ventral view  
 9 – *Microhedbergella* cf. *albiana* (Boudagher-Fadel et al., 1996), Zlh 1/65-42, Ventralansicht / ventral view  
 10 – 11 *Whiteinella paradubia* (Sigal, 1952); (10) Khg 1/64-35, Ventralansicht / ventral view; (11) Khg 1/64-35, Dorsalansicht / dorsal view  
 12 – *Whiteinella baltica* Douglas & Rankin 1969, Ventralansicht / ventral view, Khg 1/64-38  
 13 – *Whiteinella archaeocretacea* Pessagno 1967, Ventralansicht / ventral view, Khg 1/64-51  
 14 – 18 *Marginotruncana marginata* (Reuss, 1845); (14) Khg 1/64-27, Ventralansicht / ventral view; (15) Khg 1/64-26, Ventralansicht / ventral view; (16) Khg 1/64-25, Ventralansicht / ventral view; (17) Khg 1/64-25, Dorsalansicht / dorsal view; (18) Zlh 1/65-29, Ventralansicht / ventral view  
 19 – 21 *Marginotruncana coronata* (Bolli, 1945); (19) Khg 1/64-25, Ventralansicht / ventral view; (20) Khg 1/64-25, Ventralansicht / ventral view; (21) Zlh 1/65-25, Dorsalansicht / dorsal view  
 22 – 24 *Planoheterohelix reussi* (Cushman, 1938); (22) Zlh 1/65-32; (23) Zlh 1/65-32; (24) Zlh 1/65-32



**Tafel 7: Planktonische Foraminiferen Nord-Brandenburgs**  
**Plate 7: Planktonic foraminifera of north Brandenburg**

Probenbezeichnungen für Kartierungsbohrung Klaushagen: Khg 1/64-[Probennummer], für Kartierungsbohrung Zechlinerhütte: Zlh 1/65-[Probennummer]; Maßstabsbalken: 100 µm  
 Sample identification for mapping drill Klaushagen: Khg 1/64-[sample no.], for mapping drill Zechlinerhütte: Zlh 1/65-[sample no.]; scale bars: 100 µm

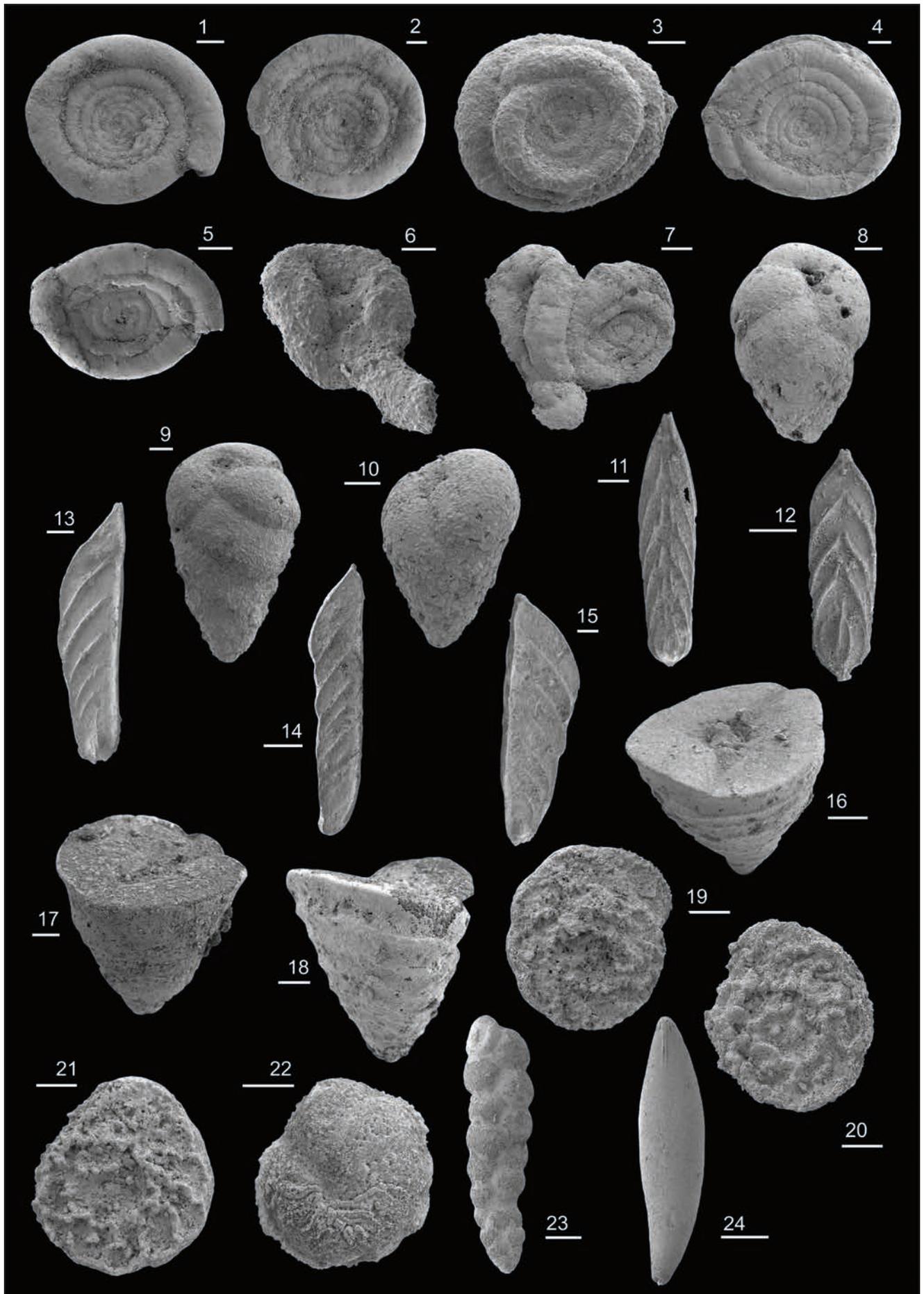
1 – 5 *Dicarinella hagni* (Scheibnerova, 1962); (1) Khg 1/64-26, Ventralansicht / ventral view; (2) Khg 1/64-26, Ventralansicht / ventral view; (3) Khg 1/64-31, Ventralansicht / ventral view; (4) Khg 1/64-26, Dorsalansicht / dorsal view; (5) Khg 1/64-26, Dorsalansicht / dorsal view  
 6 – 11 *Dicarinella imbricata* (Mornod, 1950); (6) Khg 1/64-26, Ventralansicht / ventral view; (7) Khg 1/64-26, Ventralansicht / ventral view; (8) Khg 1/64-26, Ventralansicht / ventral view; (9) Zlh 1/65-38, Ventralansicht / ventral view; (10) Zlh 1/65-34, Dorsalansicht / dorsal view; (11) Zlh 1/65-38, Dorsalansicht / dorsal view  
 12 – 16 *Rotalipora cushmani* (Morrow, 1934); (12) Zlh 1/65-40, Ventralansicht / ventral view; (13) Zlh 1/65-40, Ventralansicht / ventral view; (14) Zlh 1/65-40, Ventralansicht / ventral view; (15) Zlh 1/65-40, Ventralansicht / ventral view; (16) Khg 1/64-51, Dorsalansicht / dorsal view  
 17 – *Parathalmanninella appenninica* (Renz, 1936), Zlh 1/65-45, Ventralansicht / ventral view  
 18 – *Parathalmanninella* cf. *appenninica* (Renz, 1936), Khg 1/64-53, Ventralansicht / ventral view  
 19 – *Parathalmanninella appenninica* (Renz, 1936), Zlh 1/65-45, Dorsalansicht / dorsal view  
 20 – 24 *Thalmanninella brotzeni* Sigal 1948; (20) Khg 1/64-55, Ventralansicht / ventral view; (21) Khg 1/64-55, Ventralansicht / ventral view; (22) Khg 1/64-55, Ventralansicht / ventral view; (23) Khg 1/64-55, Dorsalansicht / dorsal view; (24) Khg 1/64-55, Dorsalansicht / dorsal view



**Tafel 8: Benthonische Foraminiferen Nord-Brandenburgs**  
**Plate 8: Benthonic foraminifera of north Brandenburg**

Probenbezeichnungen für Kartierungsbohrung Klaushagen: Khg 1/64-[Probennummer], für Kartierungsbohrung Zechlinerhütte: Zlh 1/65-[Probennummer]; Maßstabsbalken: 1 – 10, 17 – 22 = 100 µm, 11 – 16, 23 – 24 = 200 µm  
 Sample identification for mapping drill Klaushagen: Khg 1/64-[sample no.], for mapping drill Zechlinerhütte: Zlh 1/65-[sample no.]; scale bars: 1 – 10, 17 – 22 = 100 µm, 11 – 16, 23 – 24 = 200 µm

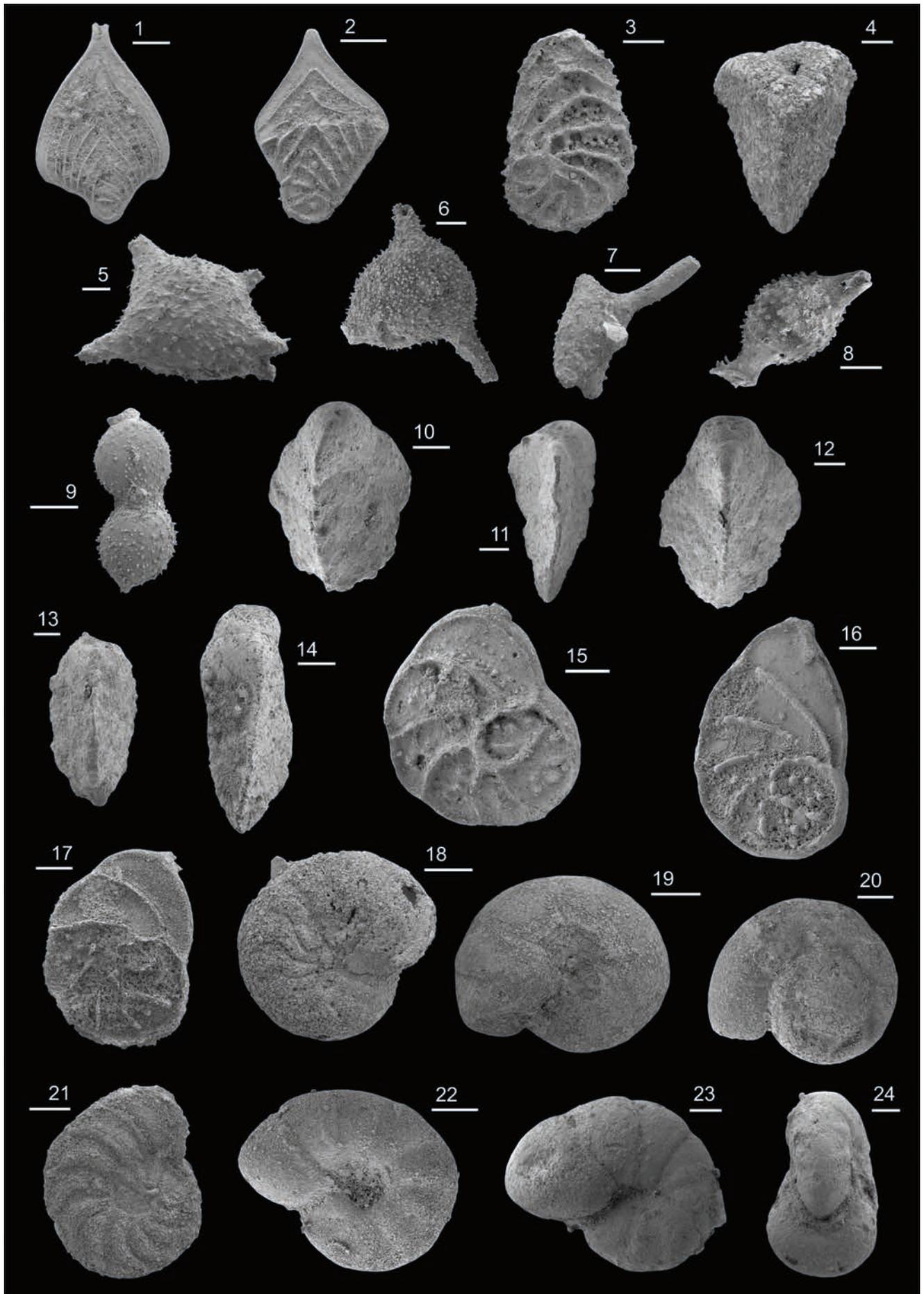
- 1 – 2 *Ammodiscus cretaceus* (Reuss, 1845); (1) Khg 1/64-27; (2) Zlh 1/65-31  
 3 – Zwei aufeinander gewachsene Individuen von *Ammodiscus* sp. / two individuals of *Ammodiscus* sp. overgrowing each other, Khg 1/64-61  
 4 – 5 *Ammodiscus peruvianus* (Berry, 1928); (4) Khg 1/64-53; (5) Khg 1/64-47  
 6 – 7 *Glomospira* sp.; (6) Khg 1/64-61; (7) Khg 1/64-25  
 8 – 10 *Arenobulimina preslii* (Reuss, 1845); (8) Khg 1/64-47; (9) Khg 1/64-56; (10) Khg 1/64-25  
 11 – *Frondicularia angusta* (Nilsson, 1826), Khg 1/64-24  
 12 – *Frondicularia* cf. *decheni* Reuss 1860, Zlh 1/65-37  
 13 – 15 *Vaginulina* sp.; (13) Khg 1/64-61; (14) Zlh 1/65-47; (15) Khg 1/64-54  
 16 – 18 *Marssonella trochus* (d'Orbigny, 1840); (16) Khg 1/64-53; (17) Zlh 1/65-40; (18) Khg 1/64-47  
 19 – 20 *Protostensioeina granulata* (Olbertz, 1942); (19) Khg 1/64-25, Ventralansicht; (20) Khg 1/64-24, Ventralansicht / ventral view  
 21 – 22 *Protostensioeina* sp.; (21) Khg 1/64-24, Ventralansicht / ventral view; (22) Khg 1/64-24, Dorsalansicht / dorsal view  
 23 – *Textularia* sp., Khg 1/64-62  
 24 – *Pyrulinooides acuminatus* (d'Orbigny, 1840), Khg 1/64-24



**Tafel 9: Benthonische Forminiferen Nord-Brandenburgs**  
**Plate 9: Benthonic forminifera of north Brandenburg**

Probenbezeichnungen für Kartierungsbohrung Klaushagen: Khg 1/64-[Probennummer], Bohrung Zechlinerhütte = Zlh 1/65-[Probennummer]; Maßstabsbalken: 1 – 3, 7 – 9, 11, 14 = 200 µm, 4 – 6, 10, 12 – 13, 15 – 24 = 100 µm  
 Sample identification for mapping drill Klaushagen: Khg 1/64-[sample no.], for mapping drill Zechlinerhütte: Zlh 1/65-[sample no.]; scale bars: 1 – 3, 7 – 9, 11, 14 = 200 µm, 4 – 6, 10, 12 – 13, 15 – 24 = 100 µm

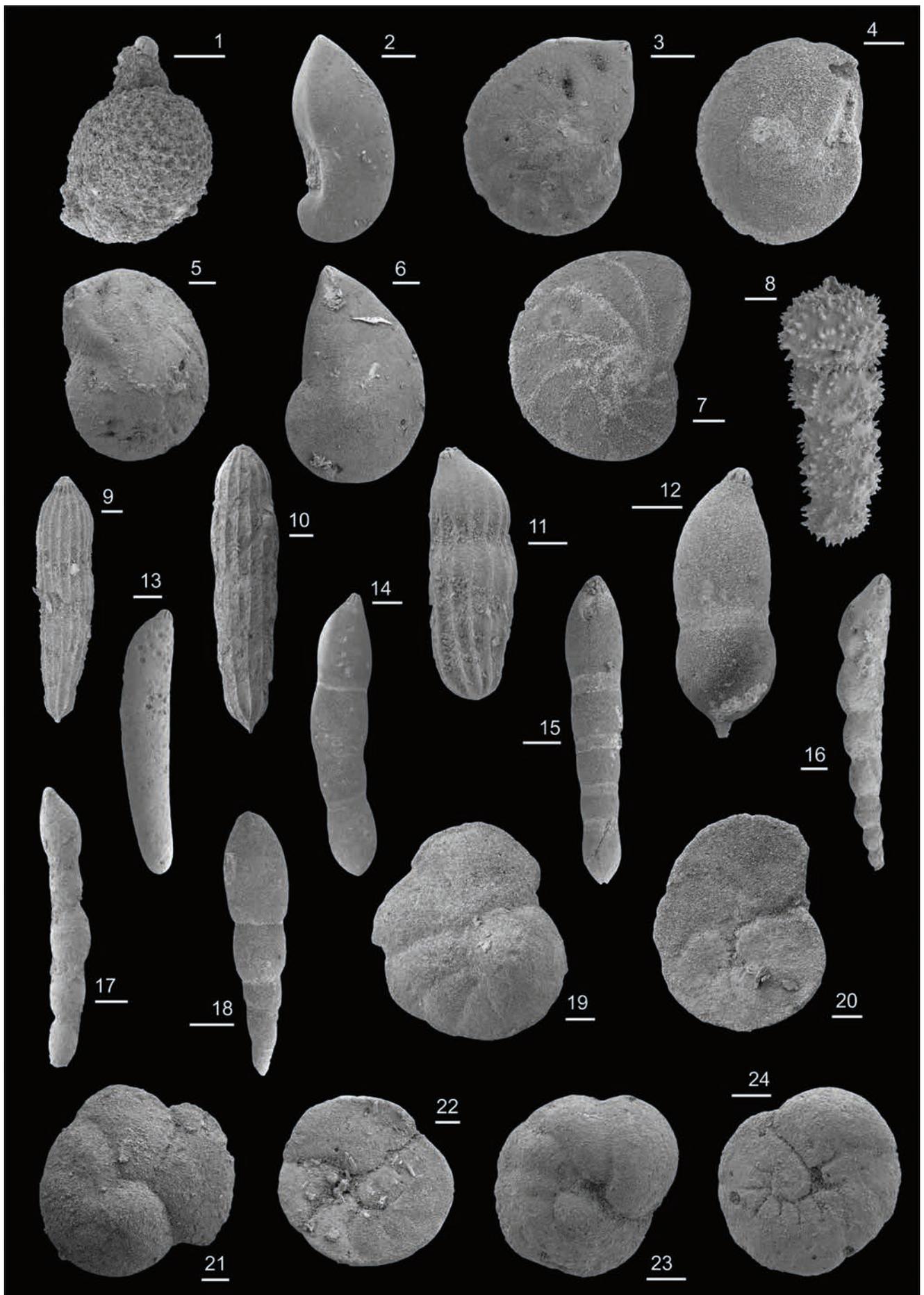
- 1 – *Neoflabellina rugosa* (d'Orbigny, 1840), Khg 1/64-25  
 2 – *Neoflabellina* sp., Khg 1/64-25, juveniles Individuum / juvenile individual  
 3 – *Neoflabellina*(?) sp., Khg 1/64-26, juveniles Individuum / juvenile individual  
 4 – *Verneuilina* sp., Khg 1/64-24, juveniles Individuum / juvenile individual  
 5 – 7 *Ramulina chapmani* Barnard 1972; (5) Khg 1/64-61; (6) Khg 1/64-24; (7) Zlh 1/65-34  
 8 – 9 *Ramulina wrightii* Barnard 1972; (8) Khg 1/64-47; (9) Zlh 1/65-42  
 10 – 12 *Tritaxia tricarinata* (Reuss, 1844); (10) Zlh 1/65-47; (11) Khg 1/64-58; (12) Zlh 1/65-47  
 13 – 14 *Tritaxia pyramidata* (Reuss, 1863); (13) Zlh 1/65-46; (14) Khg 1/64-45  
 15 – 17 *Palmula* sp.; (15) Khg 1/64-26; (16) Khg 1/64-24; (17) Zlh 1/65-29  
 18 – 20 *Gyroidinoides umbilicatus* (d'Orbigny, 1840); (18) Khg 1/64-24, Dorsalansicht / dorsal view; (19) Khg 1/64-25, Ventralansicht / ventral view; (20) Dorsalansicht / dorsal view, Khg 1/64-25, Dorsalansicht / dorsal view  
 21 – *Gavelinella cenomanica* (Brotzen, 1942), Khg 1/64-24  
 22 – *Gavelinella pertusa* (Marsson, 1878), Khg 1/64-47  
 23 – 24 *Gavelinella* sp.; (23) Zlh 1/65-41; (24) Zlh 1/65-41, Mündungsansicht / apertural view



**Tafel 10: Benthonische Foraminiferen Nord-Brandenburgs**  
**Plate 10: Benthonic foraminifera of north Brandenburg**

Probenbezeichnungen für Kartierungsbohrung Klaushagen: Khg 1/64-[Probennummer], Bohrung Zechlinerhütte = Zlh 1/65-[Probennummer]; Maßstabsbalken: 2 – 3, 13 – 15, 18 = 200 µm, 1 – 12, 17 – 24 = 100 µm  
 Sample identification for mapping drill Klaushagen: Khg 1/64-[sample no.], for mapping drill Zechlinerhütte: Zlh 1/65-[sample no.]; scale bars: 2 – 3, 13 – 15, 18 = 200 µm, 1 – 12, 17 – 24 = 100 µm

- 1 – *Favolagena*(?) cf. *supracretacea* Frenzel 2000, Zlh 1/65-35
- 2 – *Planularia* sp., Zlh 1/65-40
- 3 – *Lenticulina mariae* Schijfsma 1946, Khg 1/64-25
- 4 – *Lenticulina* sp., Zlh 1/65-29
- 5 – *Lenticulina* cf. *rotulata* Lamarck 1804, Zlh 1/65-38
- 6 – *Lenticulina gibba* (d'Orbigny, 1839), Khg 1/64-45
- 7 – *Lenticulina* sp., Khg 1/64-45
- 8 – *Nodosaria aspera* Reuss 1845, Khg 1/64-24
- 9 – 10 *Pyramidulina* sp.; (9) Khg 1/64-45; (10) Zlh 1/65-46
- 11 – *Marginulina seminotata* Reuss 1860, Zlh 1/65-42
- 12 – *Laevidentalina constricta* (Franke, 1928), Zlh 1/65-29
- 13 – *Laevidentalina pseudonana* (Ten Dam, 1950), Zlh 1/65-41
- 14 – 15 *Laevidentalina* cf. *oligostegia* (Reuss, 1845); (14) Khg 1/64-25; (15) Khg 1/64-45
- 16 – *Laevidentalina* cf. *gracilis* (d'Orbigny, 1840), Khg 1/64-56
- 17 – *Laevidentalina gracilis* (d'Orbigny, 1840), Zlh 1/65-46
- 18 – *Laevidentalina* cf. *nuda* (Reuss, 1862), Khg 1/64-56
- 19 – 22 Unbestimmte discorbide Foraminiferen / undetermined discorbid foraminifera; (19) Khg 1/64-54, Dorsalansicht / dorsal view; (20) Khg 1/64-54, Ventralansicht / ventral view; (21) Zlh 1/65-41, Dorsalansicht / dorsal view; (22) Zlh 1/65-41, Ventralansicht / ventral view
- 23 – 24 Unbestimmte Foraminiferen / undetermined foraminifera (*Gavelinella*-Typ / *Gavelinella* type); (23) Zlh 1/65-45, Dorsalansicht / dorsal view; (24) Zlh 1/65-45, Ventralansicht / ventral view



## Literatur

- AMÉDRO, F. (2008): Support for a Vraconnian Stage between the Albian sensu stricto and the Cenomanian (Cretaceous System). – Carnets de Géologie / Notebooks on Geology **CG 2008**, M02, 83 S.
- AMÉDRO, F. & F. ROBASYNSKI (2008): Zonation by ammonites and foraminifers of the Vraconnian-Turonian interval: A comparison of the Boreal and Tethyan domains (NW Europe / Central Tunisia). – Carnets de Géologie / Notebooks on Geology **CG2008**, L02, S. 1–5
- ANDO, A. & B. T. HUBER (2007): Taxonomic revision of the late Cenomanian planktonic foraminifera *Rotalipora greenhornensis* (Morrow, 1934). – Journ. Foraminiferal Res. **37**, 2, S. 160–174
- BAILEY, H. W., GALE, A. S., MORTIMORE, R. N., SWIECICKI, A. & C. J. WOOD (1984): Biostratigraphical criteria for the recognition of the Coniacian to Maastrichtian stage boundaries in the Chalk of north-west Europe, with particular reference to southern England. – Bull. geol. Soc. Denmark **33**, S. 31–39
- BALTRUSCH, S. & S. KLARNER (1993): Rotliegend-Gräben in NE-Brandenburg. – Z. dt. geol. Ges. **144**, S. 173–186
- BECKMANN (1978): Late Cretaceous smaller benthic foraminifers from sites 363 and 364. DSDP Leg 40, Southeast Atlantic Ocean. – Init. Rep. Deep Sea Drill. Prof., **40**, S. 759–781
- BEER H. (2003): Geologische Übersichtskarte des Landes Brandenburg 1 : 300 000 – Karte ohne Känozoikum. – Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg (LGRB)
- BOLLI, H. M., SAUNDERS, J. B. & K. PERCH-NIELSEN (2007): Plankton Stratigraphy **1**, 599 S. Cambridge University Press
- BOUDAGHER-FADEL, M.K. (2012): Biostratigraphic and geological significance of planktonic foraminifera. – Develop. Pal. & Strat. **22**, 289 S.
- BOUDAGHER-FADEL, M.K. (2015): Biostratigraphic and geological significance of planktonic foraminifera. – updated second edition, 320 S.
- CUSHMAN, J. A. (1940): American, Upper Cretaceous foraminifera of the genera *Dentalina* and *Nodosaria*. – Contributions from the Cushman Laboratory for Foraminiferal Research **223**, 16, 4, S. 75–98
- CUSHMAN, J. A. (1948): Upper Cretaceous foraminifera of the Gulf region of the United States and adjacent Areas. – Geol. Surv. Prof. Paper **206**, 241 S.
- DOCHEV, D. (2015): Turonian (Upper Cretaceous) inoceramid bivalves of the genus *Mytiloides* from the Sredna Gora Mountains, north-western Bulgaria. – Acta Geol. Polonica **65**, 1, S. 101–119
- DUBICKA, Z. & D. PERYT (2014): Classification and evolutionary interpretation of late Turonian – early Campanian *Gavelinella* and *Stensioeina* (Gavelinellidae, benthic Foraminifera) from Western Ukraine. – Journal of Foraminiferal Research **44**, 2, S. 151–176
- DUBICKA, Z., PERYT, D. & M. SZUSZKIEWICZ (2014): Foraminiferal evidence for paleogeographic and paleoenvironmental changes across the Coniacian–Santonian boundary in western Ukraine. – Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology **401**, S. 43–56
- DUPPER, A. (1952): Über das Cenoman im Niedersächsischen Berglande und seine Mikrofossilien. – Paläont. Z. **25**, 1–2, S. 49–111
- EICHER, D. L. & P. WORSTELL (1970): Cenomanian and Turonian foraminifera from the Great Plains, United States. – Micropaleontology **16**, 3, S. 269–324
- ELICKI, O. (2016): Mikropaläontologische Untersuchungen von Kernproben aus Erkundungsbohrungen der NE-Lausitz. – Bericht TU Bergakademie Freiberg, 77 S. (unveröff.)
- ELICKI, O. (2017a): Paläontologisch-biostratigraphische Untersuchung von Erkundungsbohrungen in Ost- und Nord-Brandenburg. – Bericht TU Bergakademie Freiberg, 100 S. (unveröff.)
- ELICKI, O. (2017b): Paläontologisch-biostratigraphische Probenbearbeitung (Kernbohrung Klaushagen Kb Khg 1/64). – Bericht TU Bergakademie Freiberg, 36 S. (unveröff.)
- EZAMPANAH, Y., SADEGHI, A., JAMALI, A. M. & M. H. ADABI (2013): Biostratigraphy of the Garau Formation (Berriasiense? – lower Cenomanian) in central part of Lurestan zone, northwest of Zagros, Iran. – Cretaceous Res. **46**, S. 101–113
- FRANKE, A. (1928): Die Foraminiferen der Oberen Kreide Nord- und Mitteldeutschlands. – Abh. Preuss. Geol. LA, NF **111**, 207 S.
- FRENZEL, P. (2000): Die benthischen Foraminiferen der Rügener Schreibkreide (Unter-Maastricht, NE-Deutschland). – Neue Paläont. Abh. **3**, 361 S., 46 Taf.
- FRIEDRICH, O., EHRBACHER, J. & J. MUTTERLOSE (2006): Cenomanian/Turonian (OAE 2) benthic foraminiferal faunas of the Demerara Rise depth transect (ODP Leg 207). – Rio de Janeiro (UFRJ), Anuário do Instituto de Geociências **29**, 1, S. 486–487

- FRIEDRICH, O., EHRBACHER, J., WILSON, P.A., MORIYA, K. & J. MUTTERLOSE (2009): Paleoenvironmental changes across the Mid Cenomanian Event in the tropical Atlantic Ocean (Demerara Rise, ODP Leg 207) inferred from benthic foraminiferal assemblages. – *Marine Micropaleontology* **71**, S. 28–40
- FRIEG, C. (1980): Neue Ergebnisse zur Systematik sandschaliger Foraminiferen im Cenoman des südwestlichen Münsterlandes. – *Paläont. Z.* **54**, 3-4, S. 225–240
- FRIEG, C. & E. KEMPER (1989): Mikropaläontologische Gliederung und Abgrenzung Ober-Alb und Unter-Cenoman in Nordwestdeutschland. – *Geol. Jahrbuch A* **113**, S. 73–195
- FRIZZELL, D. L. (1954): Handbook of Cretaceous Foraminifera of Texas. – Bureau of Economic Geology, University of Texas, Austin, Report of Investigations **22**, 230 S.
- GALE, A. S., BOWN, P., CARON, M., CRAMPTON, J., CROWHURST, S. J. & W. J. KENNEDY (2011): The uppermost Middle and Upper Albian succession at the Col de Palluel, Hautes-Alpes, France: An integrated study (ammonites, inoceramid bivalves, planktonic foraminifera, nannofossils, geochemistry, stable oxygen and carbon isotopes, cyclostratigraphy). – *Cretaceous Res.* **32**, S. 59–130
- GAWOR-BIEDOWA, E. (1980): Turonian and Coniacian foraminifera from the Nysa trough, Sudetes, Poland. – *Palaeont. Polonica* **25**, 1, 274 S.
- GAWOR-BIEDOWA, E. (1992): Campanian and Maastrichtian foraminifera from the Lublin upland, eastern Poland. – *Palaeont. Polonica* **52**, 274 S.
- GEORGESCU, M. D. (2009): Taxonomic revision and evolutionary classification of the biserial Cretaceous planktic foraminiferal genus *Laeviheterohelix* Nederbragt, 1991. – *Rev. Mexicana de Ciencias Geológicas* **26**, 2, S. 315–334
- GÖTHEL, M. (2012a): 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
- GÖTHEL, M. (2012b): Zur Zuordnung von Ablagerungssequenzen der Kreide in Ost-Brandenburg anhand aktueller makropaläontologischer sowie ereignis- und sequenzstratigraphischer Interpretation von Ergebnissen zur Bohrung Grunow Kb GrunEh 1/61. – *Brandenburg. geowiss. Beitr.* **19**, 1, S. 117–120
- GÖTHEL, M. (2018a): Stratigraphie von Brandenburg 2018. – *Brandenburg. geowiss. Beitr.* **25**, 1/2, S. 47–50, 1 Einbl.
- GÖTHEL, M. (2018b): Erkundungs- und Kenntnisstand zu den präquartären Ablagerungen im Raum Bad Freienwalde/Letschin – weiterführende Erläuterungen zur Geologischen Karte 1 : 50 000, Blätter L 3350 und L 3372 und ihrer näheren Umgebung, Land Brandenburg. – *Brandenburg. geowiss. Beitr.* **25**, 1/2, S. 51–65, 2 Einbl.
- GÖTHEL, M. & K. GRUNERT (1996): Neue Erkenntnisse aus der Braunkohle-Erkundung zur Trias-Stratigraphie der Lausitzer Triasscholle. – *Paläontologie, Stratigraphie, Fazies* **3** – Freiberger Forschungshefte **C 464**, S. 175–204
- GRADSTEIN, F. M., KAMINSKI, M. A. & F. P. AGTERBERG (1999): Biostratigraphy and paleoceanography of the Cretaceous seaway between Norway and Greenland. – *Earth-Science Rev.* **46**, S. 27–98
- VON HAGKE, C. & A. MALZ (2018): Triangle zones – Geometry, kinematics, mechanics, and the need for appreciation of uncertainties. – *Earth-Science Reviews* **177**, S. 2–42
- HARRIS, C.S. (1981): Albian microbiostratigraphy (Foraminifera and Ostracoda) of S.E. England and adjacent areas. – unpubl. Phd thesis, Plymouth Polytechnic: 338 S. (part 1) & 244 S. (part 2)
- HARDENBOL, J., THIERRY, J., FARLEY, M. B., JACQUIN, T., DE GRACIANSKY, P.-C. & P. R. VAIL (1998): Mesozoic and Cenozoic Sequence Chronostratigraphic Chart. – In: DE GRACIANSKY, P.-C., HARDEBOL, J., JACQUIN, T. & P. R. VAIL (eds.): *Mesozoic and Cenozoic Sequence Stratigraphy of European Basins*. – *SEPM Special Publication* **60**, chart
- HASEGAWA, T. (1999): Planktonic foraminifera and biochronology of the Cenomanian-Turonian (Cretaceous) sequence in the Oyubari area, Hokkaido, Japan. – *Paleont. Res.* **3**, 3, S. 173–192
- HAYNES, S. J., HUBER, B. T. & K. G. MACLEOD (2015): Evolution and phylogeny of mid-Cretaceous (Albian–Coniacian) biserial planktic foraminifera. – *Journ. Foraminiferal Res.* **45**, 1, S. 42–81
- HEMLEBEN, C., KAMINSKI, M. A., KUHN, W. & D. B. SCOTT (1989a): Paleoecology, biostratigraphy, paleoceanography and taxonomy of agglutinated foraminifera **II**. – *NATO ASI Series*, vol. 327, 1011 S.
- HEMLEBEN, C., SPINDLER, M. & O. R. ANDERSON (1989b): Modern planktonic foraminifera. – 363 S. (Springer)
- HILBRECHT, H., FRIEG, C., TRÖGER, K.-A., VOIGT, S. & T. VOIGT (1996): Shallow water facies during the Cenomanian-Turonian anoxic event: bio-events, isotopes, and sea level in southern Germany. – *Cretaceous Res.* **17**, S. 229–253

- HOLBOURNE, A. & W. KUHNT (2000): Endemic and cosmopolitan Upper Cretaceous agglutinated foraminifera of the western African margin, equatorial and central Atlantic. – In: HART, M.B., KAMINSKI, M.A., & C. W. SMART (eds), Proceedings of the Fifth International Workshop on Agglutinated Foraminifera. – Grzybowski Foundation Special Publication 7, S. 127–148
- HOLBOURNE, A., HENDERSON, A. S. & N. MACLEOD (2013): Atlas of benthic foraminifera. – 642 S.
- HRADEZKÁ, L. (1999): Correlation of the upper Turonian foraminiferal assemblage from the Úpohlavý and Bøezno sections (Bohemian Cretaceous Basin) with some other localities (South Moravia, Germany and Lower Austria). – Geol. Carpathica 50, 2, S. 145–150
- HUBER, B. & R. M. LECKIE (2011): Planktic Foraminiferal Species Turnover across Deep-Sea Aptian/Albian Boundary Sections. – Journ. Foraminiferal Res. 41, 1, S. 53–95
- INTERNATIONAL COMMISSION ON STRATIGRAPHY (2015): GSSP Table – All Periods, Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) of the International Commission on Stratigraphy. – Last updated: January 2015. – <http://www.stratigraphy.org/index.php/ics-gssps>, letzter Zugriff am 05.08.2019
- INTERNATIONAL COMMISSION ON STRATIGRAPHY (2019): International Chronostratigraphic Chart. – Last updated: May 2019. – <http://www.stratigraphy.org/index.php/ics-chart-timescale>, letzter Zugriff am 05.08.2019
- ION, J., ANTONESCU, E., MELINTE, M.C. & L. SZASZ (2004): Integrated biostratigraphy of the Turonian of Romania. – Acta Palaeont. Romaniae 4, S. 151–161
- JARVIS, I., MURPHY, A. M. & A. S. GALE (2001): Geochemistry of pelagic and hemipelagic carbonates: criteria for identifying systems tracts and sea-level change. – Journal of the Geological Society 158, S. 658–696
- JORDAN, H. & W. GASSE (1986): Bio- und lithostratigraphisch-fazielle Untersuchungen des glaukonitisch-sandigen Santon und Campan im südwestlichen Münsterland. – Geol. Paläont. Westf. 6, S. 7–49
- KAIHO, K., FUJIWARA, O. & I. MOTOYAMA (1993): Mid-Cretaceous faunal turnover of intermediate-water benthic foraminifera in the northwestern Pacific Ocean margin. – Marine Micropaleontology 23, S. 13–49
- KAMINSKI, M.A. & F. M. GRADSTEIN (2005): Atlas of Paleogene cosmopolitan deep-water agglutinated foraminifera. – Grzybowski Found. Spec. Publ. 10, 547 S.
- KAPLAN, U. (2011a): Turonium und Unterconiacium (Oberkreide) im südlichen Teutoburger Wald und Eggegebirge zwischen Augustdorf und Altenbeken (Südöstliches Münsterländer Kreidebecken) – Geol. Paläont. Westf. 81, S. 35–74
- KAPLAN, U. (2011b): Turonium und Unterconiacium (Oberkreide) im Steinbruch DIMAC bei Halle (Westfalen), Teutoburger Wald (Östliches Münsterländer Kreidebecken) – Geol. Paläont. Westf. 81, S. 75–105
- KENNEDY, W. J., GALE, A. S., LEES, J. A. & M. CARON (2004): The Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) for the base of the Cenomanian Stage, Mount Risou, Hautes-Alpes, France. – Episodes 27, 1, S. 21–32
- KENNEDY, W. J. & I. WALASZCZYK (2004): *Forresteria (Harleites) petrocoriensis* (COQUAND, 1859) from the Upper Turonian *Mytiloides scupini* Zone of Słupia Nadbrzeżna, Poland. – Acta Geologica Polonica 54, 1, S. 55–59
- KENNEDY, W. J., WALASZCZYK, I. & W. A. COBBAN (2005): The Global Boundary Stratotype Section and Point for the base of the Turonian Stage of the Cretaceous: Pueblo, Colorado, U.S.A. – Episodes 28, 2, S. 93–104
- KHAN, S. (2012): Biostratigraphy and Microfacies of the Cretaceous Sediments in the Indus Basin, Pakistan. – unpubl. Phd thesis, University of Edinburgh, 360 S.
- KIESEL, Y. (1955): Die Foraminiferen des Turons von Pirna. – Min.-Geol. Jahrbuch, Dresden 1, S. 24–58
- KOCH, W. (1977): Biostratigraphie in der Oberkreide und Taxonomie von Foraminiferen. – Geol. Jahrbuch, A 38, S. 11–123
- LAMOLDA, M. A., PAUL, C. R. C., PERYT, D. & J. M. PONS (2014): The Global Boundary Stratotype and Section Point (GSSP) for the base of the Santonian Stage, “Cantera de Margas”, Olazagutia, northern Spain – Episodes 37, 1, S. 2–13
- LEARY, P.N. (1987): The Late Cenomanian Anoxic Event; implications for foraminiferal evolution. – Phd thesis, Plymouth Polytechnic: 325 S.
- LEHMANN, J., TRÖGER, K.-A. & H. G. OWEN (2008): Ammonites and associated macrofauna from the early Late Albian of the Zippelsförde 1/64 core, NE-Germany. – Acta Geol. Polonica 58, 4, S. 437–453
- LIPSON-BENITAH, S. (2008): Phylogeny of the middle Cretaceous (late Albian-late Cenomanian) planktonic foraminiferal genera *Parathalmaninella* nov. gen. and *Thalmaninella*. – Journ. Foraminiferal Res. 38, 2, S. 183–189

- MOULLADE, M., TRONCHETTI, G. & J.-J. BELLIER (2008): Associations et biostratigraphie des Foraminifères benthiques et planctoniques du Bédoulien sommital et du Gargasien inférieur de La Tuilière - St-Saturnin-lès-Apt (aire stratotypique de l'Aptien, Vaucluse, SE France). – Carnets de Géologie / Notebooks on Geology **CG2008, A01**, 50 S.
- MUTTERLOSE, J. (1997): Lower Cretaceous. – In: MUTTERLOSE, J., WIPPICH, M. G. E. & M GEISEN (Eds.): Dedositional Environments of NW Germany. – Bochumer geol u. geotechn. Arb. **46**, S. 7–12
- MWENEINDA, A. K. (2014): Mid-Cretaceous Stratigraphy and Micropalaeontology of the Coastal Basins of Tanzania. – unpubl. Phd thesis, Cardiff University, 419 S.
- NEAGU, T. (1979): Micropalaeontological and stratigraphical study of upper Cretaceous deposits between the upper valleys of the Buzau and Riul Negru rivers (eastern Carpathians). – Inst. Geol. Bucuresti, Mem. XII, 189 S.
- NEAGU, T. (2005): Albian Foraminifera of the Romanian Plain - Planktonic Foraminifera. – Acta Palaeont. Romaniaae **5**, S. 311–332
- NEAGU, T. (2012): "*Rosalina*" *marginata* REUSS 1845 (Foraminifera) and its taxonomic positions. – Studia UBB Geologia **57**, 2, S. 35–38
- NIEBUHR, B., WOOD, C. J. & G. ERNST (2000): Isolierte Oberkreide-Vorkommen zwischen Wiehengebirge und Harz. – In: STRATIGRAPHISCHE KOMMISSION DEUTSCHLANDS (Hrsg.): Die Kreide der Bundesrepublik Deutschland. – Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg **226**, S. 101–109
- NÖTZOLD, T. (1965): Die Präparation von Gyrogoniten und kalkigen Charophyten-Oogonien aus festen Kalksteinen. – Monatsber. dt. Akad. Wiss. **7**, S. 216–221
- NUGLISCH, K. (1975): Foraminiferen aus der subherzynen Oberkreide. – Freiburger Forschungshefte **C 309**, S. 7–70
- OGG, J. G. & L. A. HINNOV (2012): Chapter 27 Cretaceous. – In: GRADSTEIN, F. M., OGG, J. G., SCHMITZ, M. D. & G. M. OGG (Eds.): The Geologic Time Scale 2012, **1 & 2**, S. 793–853
- PATTERSON, R. T., HAGGART, J. W. & A. P. DALBY (2010): A guide to late Albian-Cenomanian (Cretaceous) foraminifera from the Queen Charlotte Islands, British Columbia, Canada. – Palaeont. Electronica **13**, 2, 28 S.
- PERYT, D. (1980): Planktic Foraminifera zonation of the Upper Cretaceous in the Middle Vistula River valley, Poland. – Palaeont. Polonica **41**, S. 3–101
- PERYT, D. (2004): Benthic foraminiferal response to the Cenomanian–Turonian and Cretaceous–Paleogene boundary events. – Przegląd Geologiczny **52**, 8/2, S. 827–832
- PETRIZZO, M. R. (2013a): Planktonic Foraminifera. – Präsentation zum Workshop „International School of Foraminifera“, Urbino, 44 S.
- PETRIZZO, M. R. (2013b): Evolution of planktonic Foraminifera - Cretaceous. – Präsentation zum Workshop „International School of Foraminifera“, Urbino, 51 S.
- PETRIZZO, M.R. & I. PREMOLI SILVA (2011): New Editing of Practical Manual of Cretaceous planktonic foraminifera. – “International School on Planktonic Foraminifera“, Perugia, 265 S.
- PETRIZZO, M. R., WRAY, D.S. & E. GAWOR-BIEDOWA (1980): Turonian and Coniacian foraminifera from the Nysa trough, Sudetes, Poland. – Palaeont. Polonica **25**, 1, 274 S.
- PREMOLI SILVA, I. & D. VARGA (2004): Practical Manual of Cretaceous planktonic foraminifera. – “International School on Planktonic Foraminifera“, Perugia, 265 S.
- QUILTY, P. G. (1992): Upper Cretaceous benthic foraminifera and paleoenvironments, southern Kerguelen Plateau, Indian Ocean. – In: WISE, S. W., JR., SCHLICH, R. et al., Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results **120**, S. 393–443
- 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
- REINHARDT, H.-G. & GRUPPE REGIONALES KARTENWERK (1968–1991): Regionales Kartenwerk der Reflexionsseismik; Tiefenlinienpläne und Mächtigkeitskarten 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000. – VEB Geophysik Leipzig (unveröff.)
- RESCHER, K. (1991): Biostratigraphische Gliederung der höheren Oberkreide mit benthonischen Foraminiferen im nordwestlichen Münsterland (Bohrung Metelen 1001). – Facies **24**, S. 99–106
- ROBASZYNSKI, F. & M. CARON (1979): Atlas de Foraminifères Planctoniques du Crétacé Moyen (Mer Boréale et Téthys). Edit. du CNRS Paris, Partie 1, 185 S. & Partie 2, 181 S.

- ROBASZYNSKI, F., CARON, M., GONZALES DANOSO, J. M. & A. A. H. WONDERS (1984): Atlas of Late Cretaceous Globotruncanids. – *Rev. de Micropaléontologie* **26**, 3/4, S. 145–305
- ROMPF, I. (1960): Foraminiferen aus dem Cenoman von Sachsen unter besonderer Berücksichtigung der Umgebung von Dresden. – *Freiberger Forschungshefte C* **89**, S. 5–124
- SEN GUPTA, B. (2002): *Modern Foraminifera*. – 371 S. (Kluwer Acad. Publ.)
- SOUA, M. (2011): Le passage Cénomaniens-Turonien en Tunisie: Biostratigraphie des foraminifères planctoniques et des radiolaires, chemostratigraphie, cyclostratigraphie et stratigraphie séquentielle. – unpubl. Phd thesis, Université Tunis El Manar, 347 S.
- SPAETH, C. (2000): Alb. – In: STRATIGRAPHISCHE KOMMISSION DEUTSCHLANDS (Eds.): *Die Kreide der Bundesrepublik Deutschland*. – *Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg* **226**, S. 21–25
- STEININGER, F. F. (2000): Die Kreide der Bundesrepublik Deutschland (Stratigraphie von Deutschland III). – *Courier Forschungsinstitut Senckenberg* **226**, 207 S.
- SZAREK, R., KŁOSOWSKA, B., PROKOP, A., KUHN, W. & T. WAGNER (2000): Upper Albian agglutinated foraminifera from two wells in Northeast Germany. – *Proceedings of the Fifth International Workshop on Agglutinated Foraminifera. Grzybowski Foundation Special Publication* **7**, S. 445–463
- TARKOWSKI, R. & S. LISZKA (1984): Foraminifera and age of the Korzkiew sands near Cracow (in Polish). – *Ann. Soc. Geol. Poloniae* **52**, 1/4, S. 231–238
- TRÖGER, K.-A. & W. K. CHRISTENSEN (1991): Upper Cretaceous (Cenomanian-Santonian) inoceramid bivalve faunas from the island of Bornholm, Denmark – With a review of the Cenomanian-Santonian lithostratigraphic formations and locality details. – *Danmarks Geologiske Undersøgelse A* **28**, 47 S.
- TRÖGER, K.-A. & B. NIEBUHR (2014): Inoceramide Muscheln. – In: NIEBUHR, B. & M. WILMSEN (Hrsg.): *Kreide-Fossilien in Sachsen, Teil 1*. – *Geologica Saxonica* **60**, 1, S. 169–199
- TRÖGER, K.-A. & M. WEJDA (1998): The Turonian/Coniacian (T/C) boundary in the Upper Cretaceous of the Elbe Valley/Saxony (Germany). – *Acta Geologica Polonica* **48**, 4, S. 387–394
- TRONCHETTI, G. & D. GROSHENY (1991): Benthiques au passage Cenomanien–Turonien à Vergons, S-E France. – *Géobios* **24**, 1, S. 13–31
- TYSZKA, J. (2006): Taxonomy of Albian Gavelinellidae (Foraminifera) from the Lower Saxony Basin, Germany. – *Palaeontology* **49**, 6, S. 1303–1334
- VÁZQUEZ RIVEIROS, N. & R. T. PATTERSON (2007): An illustrated guide to fjord foraminifera from the Seymour-belize inlet complex, northern British Columbia, Canada. – *Palaeont. Electronica* **11**, 1, 45 S.
- VENCKUTĖ-ALEKSIENĖ, A. (2005): Cenomanio planktoninio foraminiferø ávairovė Lietuvoje. – *Geologija* **49**, S. 48–58
- VENCKUTĖ-ALEKSIENĖ, A. (2010): Cenomanian–Coniacian Upper Cretaceous foraminiferal fauna of Lithuania. – *Geologija* **52**, 1–4, S. 69–72
- WALASZCZYK, I. & W. A. COBBAN (2006): Palaeontology and biostratigraphy of the Middle – Upper Coniacian and Santonian inoceramids of the US Western Interior. – *Acta Geol. Polonica* **56**, 3, S. 241–348
- WALASZCZYK, I., KOPAĖVICH, L. F. & V. N. BENIAMOVSKI (2013): Inoceramid and foraminiferal record and biozonation of the Turonian and Coniacian (Upper Cretaceous) of the Mangyshlag Mts., western Kazakhstan. – *Acta Geologica Polonica* **63**, 4, S. 469–487
- WALASZCZYK, I., WOOD, C. J., LEES, J. S., PERYT, D., VOIGT, S. & F. WIESE (2010): The Salzgitter-Salder Quarry (Lower Saxony, Germany) and Słupia Nadbrzeżna river cliff section (central Poland): a proposed candidate composite Global Boundary Stratotype Section and Point for the base of the Coniacian Stage (Upper Cretaceous). – *Acta Geol. Polonica* **60**, 4, S. 445–477
- WIESE, F., KOŠTÁK, M. & C. J. WOOD (2009): The Upper Cretaceous belemnite *Praeactinocamax plenus* (BLAINVILLE, 1827) from Lower Saxony (Upper Cenomanian, northwest Germany) and its distribution pattern in Europe. – *Paläont. Z.* **83**, 2, S. 309–321
- WILMSEN, M. (2007): Integrated stratigraphy of the upper Lower – lower Middle Cenomanian of northern Germany and southern England. – *Acta Geol. Polonica* **57**, 3, S. 263–279
- WILMSEN, M. (2012): Origin and significance of Late Cretaceous bioevents: Examples from the Cenomanian. – *Acta Palaeont. Polonica* **57**, 4, S. 759–771
- WILMSEN, M. & T. VOIGT (2006): The middle – upper Cenomanian of Zilly (Sachsen-Anhalt) with remarks on the *Pycnodonte* Event. – *Acta Geol. Polonica* **56**, 1, S. 17–31

WOOD, C., WALASZCZYK, I., MORTIMORE, R. & M. WOOD (2004): New Observations on the inoceramid biostratigraphy of the higher part of the Upper Turonian and the Turonian – Coniacian boundary transition in Poland, Germany and the UK. – *Acta Geol. Polonica* **54**, 4, S. 541–549

ŽÍTT, J., VODRÁŽKA, R., HRADECKÁ, L., SVOBODOVÁ, ŠTASTNÝ, M. & ŠVÁBENICKÁ, L. (2015): Depositional and palaeoenvironmental variation of lower Turonian nearshore facies in the Bohemian Cretaceous Basin, Czech Republic. – *Cretaceous Res.* **56**, S. 293–315

Chronos-Portal Database:

<http://www.chronos.org/index.html>

World Foraminifera Database:

<http://www.marinespecies.org/foraminifera/>

Pforams-Mikrotax:

<http://www.mikrotax.org/pforams/index.html>

**Anschrift der Autoren:**

Prof. Dr. Olaf Elicki  
TU Bergakademie Freiberg  
Geologisches Institut  
Bernhard-von-Cotta-Straße 2  
09599 Freiberg  
[Olaf.Elicki@geo.tu-freiberg.de](mailto:Olaf.Elicki@geo.tu-freiberg.de)

Michael Göthel  
Landesamt für Bergbau,  
Geologie und Rohstoffe Brandenburg  
Inselstraße 26  
03046 Cottbus  
[Michael.Goethel@lbgr.brandenburg.de](mailto:Michael.Goethel@lbgr.brandenburg.de)



Brandenburg. geowiss. Beitr.	Cottbus	26 (2019), 1/2	S. 107–116	2 Abb., 51 Zit., 1 Einbl. (1 S.)
------------------------------	---------	----------------	------------	-------------------------------------

# Vulkanisch geprägtes Unterrotliegend der Lausitz – Resultat postvariszischer Strike-Slip-Bewegungen an den Mitteldeutschen Abbrüchen

## Volcanic influenced Unterrotliegend deposits of the Lausitz region – result of the post-variscan strike-slip movements on the Central German faults

MICHAEL GÖTHEL

### 1 Einleitung

Im SE der Struktur Mulkwitz wurde 5 km südwestlich von Weißwasser im Rahmen der Kupfererz-Erkundung die Bohrung Spremberg Cu Sp 83/60 geteuft. Auf die vorläufigen Ergebnisse einer detaillierten Neuaufnahme und Interpretation des Präzechstein bzw. nicht durchteuften Rotliegend wurde in GÖTHEL (2012a) bereits hingewiesen. Das Kernmaterial liegt noch nahezu vollständig vor und wird im Bohrkern- und Probenarchiv des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR) in Wünsdorf aufbewahrt.

Auf der Grundlage des inzwischen fast sechzig Jahre fortgeschrittenen Kenntnisstandes wurde die Kernstrecke des Rotliegend feldgeologisch neu aufgenommen und bewertet. Die daraus resultierenden neuen Ergebnisse werden vorgestellt, regionalgeologisch eingeordnet und ihre Interpretation diskutiert. Dabei erfolgt die Darstellung von Lithologie und stratigraphischer Korrelation nach bohrlochgeophysikalischer Teufenkorrektur der Kernmärsche. Gleichzeitig wird ausführlich der aktuelle Erkundungs- und Kenntnisstand der in die Westsudeten Polens hineinreichenden Permokarbonenke, seines variszischen Rahmens und Untergrundes vorgestellt, in dem das Rotliegend der Bohrung Cu Sp/83 abgelagert wurde.

### 2 Regionalgeologische Situation, Bruchtektonik und variszische Vorprägung

Der Rotliegend-Anteil der Bohrung Spremberg Cu Sp 83/60 wurde in der Niederlausitz-Nordsudetischen Permokarbonenke, einer extramontanen Permokarbon-Senke (SCHNEIDER & GEBHARDT 1993) mit einer ca. NW–SE verlaufenden Trogachse, abgelagert. Einerseits reicht dieser Permokarbon-Trog meist bis an den Lausitzer Block sowie seiner südöstlichen Fortsetzung, dem Iser- und Riesengebirgsmassiv (Izera-Karkonosze-Massiv) einschließlich angrenzender Schiefergebirgseinheiten heran. Andererseits befindet sich die Ostbrandenburg-Schwelle (NÖLDEKE & SCHWAB 1977)

im NW sowie der Subsudetische Block im SE. Nach NW in Richtung Berlin mündet der Permokarbon-Trog in das Südliche Perm-Becken (GAST 1993) bzw. in die Norddeutsch-Polnische Senke (NÖLDEKE & SCHWAB 1977). Seine SW- und NE-Begrenzung wird bruchtektonisch durch dextrale Seitenverschiebungen, die auch durch Begrenzungen variszischer Bauteile vorgeprägt sind, bestimmt. Sie gehören zu den staffelförmig W–E angeordneten, etwa NW–SE verlaufenden Mitteldeutschen Abbrüchen, die überregional die Norddeutsch-Polnische Senke südlich von den deutsch-polnischen Mittelgebirgen trennen. Sie wurden im Mesozoikum und Känozoikum z. T. unterschiedlich – sowohl zeitlich als auch abschnittsweise – reaktiviert, so dass vor allem infolge der subherzynischen Bewegungen in der Oberkreide die Konfiguration von Ostbrandenburgischer und südöstlich anschließender Nordsudetischer Kreidesenke (VOIGT 2009) dem Verlauf der Niederlausitz-Nordsudetischen Permokarbonenke im Wesentlichen folgt. Das Regime der Mitteldeutschen Abbrüche wurde dabei durch die phasenweise in der Oberkreide (subherzynische Bewegungen) beginnende Rotation des Lausitzer Blockes und seiner südöstlichen Fortsetzung, dem Iser- und Riesengebirgsmassiv (Izera-Karkonosze-Kristallinmassiv) mit seinem Schiefergebirgsrahmen zwischen dem Sächsischen und Hamburger Elbe-Lineament (Southern Elbe Lineament und Northern Elbe Lineament in FRANKE & HOFFMANN 1999) bestimmt. Dabei entwickelten sich südwestlich und nordöstlich des Lausitzer Blockes und seiner südöstlichen Fortsetzung zwei spitzwinkelig angeordnete, hauptsächlich mit Ablagerungen der Oberkreide gefüllte Senken, die jedoch entgegengesetzt geöffnet sind. Während die Sächsisch-Nordböhmisches Senke zwischen Lausitzer Überschiebung und ihrer Fortsetzung, der Süd-Karkonosze-Störung einerseits und Elbe-Störung (STANEK et al. 2016) andererseits, spitzwinkelig in Richtung SE nach Nordböhmen geöffnet ist, ist die Niederlausitz-Nordsudetische Senke entgegengesetzt in Richtung NW zur Norddeutsch-Polnischen Senke geöffnet (Abb. 1).

Zum Gesamtbild des bruchtektonischen Rahmens der Permokarbon-Senke und der Kreide-Senken gehören, von W nach E betrachtet, folgende Mitteldeutsche Abbrüche:

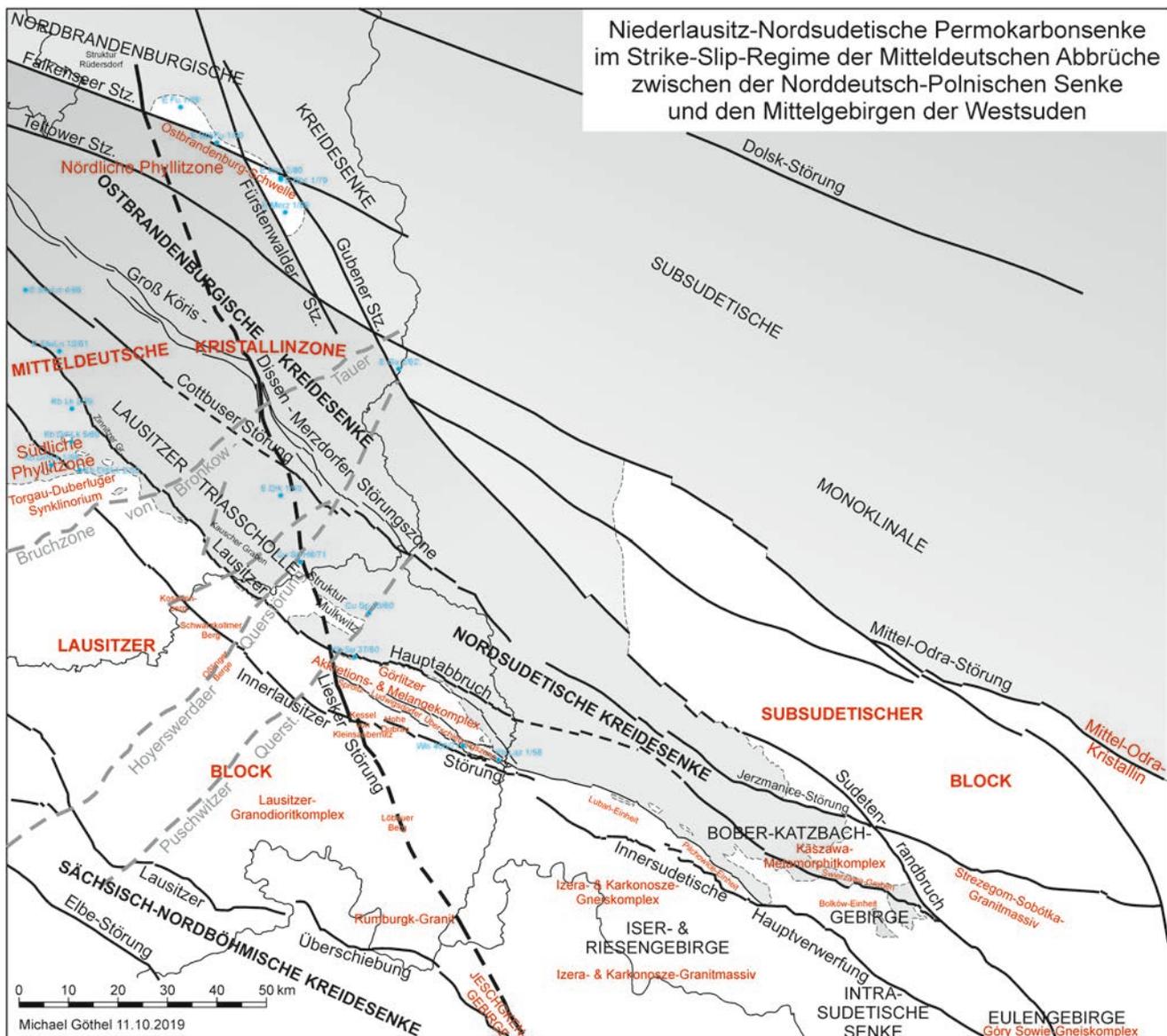


Abb. 1: Regionalgeologische Position der extramontanen Niederlausitz-Nordsudetischen Permokarbonsenke im Bereich der Mitteldeutschen Abbrüche zwischen Norddeutsch-Polnischer Senke und den Mittelgebirgen der Westsudeten mit Lage ausgewählter Bohrungen

Fig. 1: Regional geological position of the extramontane Niederlausitz-Northsudetian Permian-Carboniferous basin in the region of the Central German fault system between Northgerman-Polish basin and the Westsudetic hills and subdued mountains, with the location of selected drillings

hauptsächlicher WNW–ESE-Verlauf:

1. Innerlausitzer Störung (HIRSCHMANN 1966, BRAUSE 1969) als Fortsetzung der Innersudetischen Hauptverwerfung (DON, J. & A. ŻELAŻNIEWICZ 1990, MAZUR et al. 2010) in Polen (GÖTHEL 2001)
2. Lausitzer Hauptabbruch (GÖTHEL & GRUNERT 1996)
3. Wünsdorf–Cottbuser Schwereflanke (GÖTHEL & GRUNERT 1996) im Zusammenhang mit der Cottbuser Störung (KOPP et al. 2001), vermutlich mit der Jerzmanice-Störung im Kaczawa-Metamorphitkomplex (BARANOWSKI et al. 1990) bis an den Sudetenrandbruch fortgesetzt (DON & ŻELAŻNIEWICZ 1990) und weiter ost-

südöstlich mit dem NNE-Rand des Strzegom-Sobótka-Granitmassivs verfolgbar

4. Teltower Störungszone (WEINLICH 1991) als Fortsetzung der Mittel-Odra-Störung (MAZUR et al. 2010) und Teil des Odra–Kraków–Lineamentes (FRANKE & HOFFMANN 1999) in Polen
5. Falkenseer Störungszone (BALTRUSCH & KLARNER 1993)

hauptsächlicher NW–SE-Verlauf:

6. Groß Kōris–Dissen–Merzdorfer Störungszone (GÖTHEL & GRUNERT 1996)

hauptsächlicher NNW–SSE-Verlauf:

7. lineamentäre Geofraktur Herzfelde – Dissen – Baruth – Löbau (bisher nicht erkannt), mögliche Fortsetzung zwischen Jeschken-Gebirge (Jěstěd hory) und Iser- und Riesengebirge (Krkonoše-Jizera-Kristallin) bis zur Sächsisch-Nordböhmisches Kreidesenke in Tschechien
8. Fürstenwalder Störungszone (GÖTHEL 2012b)
9. Gubener Störungszone (GÖTHEL 2012b), als Fortsetzung des Sudetenrandbruchs (DON & ŽELAŽNIEWICZ 1990, MAZUR et al. 2010) in Polen

Infolge der Rotation des Lausitzer Blockes und seines Schiefergebirgsrahmens entwickelte sich auch am Lausitzer Hauptabbruch infolge von Kompression eine Aufrichtungszone wie am Harznordrand (GÖTHEL & GRUNERT 1993). Etwa nordwestlich der Bruchzone von Bronkow–Tauer (GÖTHEL & GRUNERT 1996) bildeten sich dagegen die direkt an den Lausitzer Hauptabbruch geknüpften Weitungstrukturen, wie beispielsweise der Zinnitzer Graben. Jedoch nicht der Kauscher Graben im Braunkohlentagebau Welzow, der sich wesentlich später im Känozoikum über einer kompressiven Antiklinalstruktur im nordöstlichen Vorfeld der Aufrichtungszone zu entwickeln begann.

Die dextrale Seitenverschiebung der Innerlausitzer Störung wird durch die Heraushebung des Koschenberges südöstlich Senftenberg infolge der Bildung einer Akkomodationszone belegt. Als NW-Fortsetzung der Innersudetischen Hauptverwerfung trifft sie nicht nordwestlich des Görlitzer Synklinoriums auf den Lausitzer Hauptabbruch und wird nicht durch ihn fortgesetzt, wie es in letzter Zeit immer wieder falsch dargestellt wird (u. a. FRANKE & ŽELAŽNIEWICZ 2002, zuletzt FRANKE, COCKS & TORSVIK 2017). Ebenso wie die Innersudetische Hauptverwerfung als Bildung des SW-Randes des Eulengebirges (Góry Sowie-Gneiskomplex) treffen nördlich davon im Bober-Katzbach-Gebirge (Kaczawa-Metamorphitkomplex) die Fortsetzungen von Lausitzer Hauptabbruch und Cottbuser Störung auf den Sudetenrandbruch, der den Subsudetischen Block im SW bruchtektonisch begrenzt und von der Gubener Störungszone fortgesetzt wird. Östlich des Sudetenrandbruchs setzt sich vermutlich die Jerzmanice-Störung (Fortsetzung der Cottbuser Störung) als NNE-Rand des Strzegom-Sobótka-Granitmassivs mit seinem Glimmerschieferrahmen fort. Sie würde dann den Sudetenrandbruch – ebenso wie die Teltower und Falkenseer Störungszone die Fürstenwalder und Gubener Störungszone im NW kreuzt – im SE queren.

Die Teltower und Falkenseer Störungszone queren die Fürstenwalder und Gubener Störungszone im Bereich der Ostbrandenburg-Schwelle. Dort lagert sowohl im nach NW als auch im nach SE geöffneten Schnittwinkel zwischen Falkenseer und Fürstenwalder Störungszone der Zechstein unter Fehlen von Rotliegend auf dem variszischen Grundgebirge der Nördlichen Phyllitzone (KOPP et al. 2001). Mit Phylliten und Metagrauwacken (Bohrungen Biegenbrück E Bbc 1/70, Fürstenwalde E Fu 1/88), quarzitischen Sandsteinen (Bohrungen Biegenbrück E Bbc 2h/80, Berkenbrück

E BbkFu 1/90) und basischen Metatuffen (Grünschiefer, Bohrung Merz E Merz 1/86) bildet die Ostbrandenburg-Schwelle gleichzeitig die nördliche Begrenzung der Niederlausitz-Nordsudetischen Permokarbonsenke und den nordwestlichsten Abschnitt ihres Randes im NE. Mit der Verlagerung der dextralen Seitenverschiebung von der Fürstenwalder auf die Gubener Störungszone unter Bildung einer Akkomodationszone verliert sich der horstartige Charakter der NW–SE verlaufenden Ostbrandenburg-Schwelle und wird Richtung SE dann wieder vom Subsudetischen Block nordöstlich des Sudetenrandbruchs übernommen. Im Bober-Katzbach-Gebirge (Kaczawa-Metamorphitkomplex, u. a. BARANOWSKI et al. 1990, KRYZA et al. 2004, 2007, MAZUR et al. 2010) erfolgt der infolge der Seitenverschiebungen buchtenartig verlaufende, schmale SE-Ausbiss der Niederlausitz-Nordsudetischen Permokarbonsenke. Vor allem dort sind oberflächlich anstehende Vulkanite und ihre Pyroklastika des Unterrotliegend studierbar (u. a. OSTROMECKI 1973, MIKULSKI & WILLIAMS 2014). Mit dem Świerzawa-Graben reicht der Permokarbon-Trog dort bis an den Sudetenrandbruch heran.

Bereits im Bereich der Struktur Jerischke-Raden trifft spitzwinkelig die Groß Köris–Dissen–Merzdorfer Störungszone auf die Cottbuser Störung bzw. die Wünsdorf–Cottbuser Schwereflanke. An der SW-Flanke der Groß Köris–Dissen–Merzdorfer Störungszone wurde das Mesozoikum unter Bildung von Trias- und Jura-Aufbrüchen an der präkänozoischen Oberfläche infolge dextraler Seitenverschiebung gestapelt. Gleichzeitig entwickelten sich an ihrer SW-Flanke im Zuge der Bildung von Triangel-Strukturen mehrere Kreidemulden. Diese Störungszone beinhaltet mit der Dissener Störungszone ein Element, das wie die Fürstenwalder und Gubener Störungszone NNW–SSE verläuft. Die Dissener Störungszone gehört mit der Struktur Dissen möglicherweise zu einer lineamentären Geofraktur, da sich sowohl nordnordwestlich als auch südsüdöstlich verlaufende Bruchstörungen und an der präkänozoischen Oberfläche auftretende, auffällige Kartierungselemente ihren vermuteten weiteren Verlauf markieren. In ihrer südsüdöstlichen Fortsetzung gehört zunächst im Bereich der Hoyerswerdaer Querstörung (BRAUSE 1964) der SW-Ausbiss des Türkendorfer Oberkreidegrabens (GÖTHEL & TRÖGER 2002) dazu. Im Görlitzer Schiefergebirge kommt zu dieser Geofraktur die Liesker Störung hinzu, die südlich der Innerlausitzer Störung infolge ihres östlichen Versatzes durch Bildung einer Akkomodationszone den bruchtektonischen Kessel von Kleinsaubernitz (LINDNER & BRAUSE 1967) mit hervorruft. Die Aneinanderreihung von Maar-Diatrem-Vulkantypen (BÜCHNER & TIETZ 2012) mit alkalischen Vulkaniten des Oligozän (u. a. westlich Kleinsaubernitz und östlich Baruth, SUHR & GOTH 2002, GABRIEL 2003) bildet diese Geofraktur zumindest bis zum Nephelinit des Löbauer Berges ab. Möglicherweise durchquert sie östlich Zittau den NE-Teil des noch heute aktiven Ohře-Rifts (Eger-Graben) und könnte auch mit der ENE-Begrenzung des Jeschken-Gebirges (Jěstěd hory) zum Iser- und Riesengebirge (Krkonoše-Jizera-Kristallinmassiv) südwestlich Liberec in Tschechien zusammenhängen, be-

vor sie spitzwinkelig auf die Lausitzer Überschiebung trifft. Nordnordwestlich der Dissener Störungszone befindet sich eine Stapelungsstruktur südsüdöstlich Herzfelde, die in die E-Flanke der Salzkissenstruktur Rüdersdorf mündet und mit der Kartierungsbohrung Herzfelde Kb HzfeSu 4/63 erbohrt wurde. Dort wird von der Känozoikumbasis zuoberst eine Serpulit-Wealden-Überschiebungsscholle geschnitten. Die vermutliche Triangle-Struktur (VON HAGKE & MALZ 2018) zeichnet sich darunter im Obermalm durch Kalksteinbrekzien und eine mit 58,4 m durchteuften Alb-Cenoman-Scholle aus, dessen Basisüberschiebung von einer verkarsteten Kalkbrockenlehm-Brekzie gebildet wird. Die Geröll-Lagen im Obermalm sind auf die syngenetische Akkumulation von Zechsteinsalinar zurückzuführen. Zu klären wäre, welche Sedimentationslücken im nicht gänzlich durchteuften Malmstapel dieser Bohrung (Endteufe 1093,1 m) auf Sedimentationsunterbrechung und Abtragung während einer halokinetischen Phase zurückzuführen (BACH et al. 1991) und welche bruchtektonisch durch weitere Duplex-Überschiebungen bedingt sind.

Aufgrund seiner Oberflächennähe und seines guten Erkundungsgrades ist die Prägung des SW-Randes des Permokarbon-Troges durch Vulkanite, ihre Pyroklastika und Ablagerungen schon seit dem Oberkarbon (Westfal und Stephan) nachgewiesen. Die Oberkarbon-Vorkommen sind mit dem Aufreißen von lokalen Pull-Apart-Becken zwischen den Seitenverschiebungen der Mitteldeutschen Abbrüche zu sehen, deren Auffüllung hauptsächlich vom damit einhergehenden Vulkanismus erfolgte. Sie konzentrieren sich z. T. außerhalb und streifenartig am SW-Rand der heutigen Trog-Verbreitung. So ist das paläobotanisch belegte Westfal-Vorkommen von Ludwigsdorf (ROSELT 1959, HIRSCHMANN 1966) nordwestlich Görlitz (Kartierungsbohrung Lausitz Kb Laz 1/58, als Bohrung 117: L I/58 in HIRSCHMANN et al. 1972) an die dabei überprägte SW gerichtete Stapelung des variszischen Akkretions- und Melangekomplexes geknüpft (GÖTHEL 2001). Dort wurden hauptsächlich schräggestellte Vulkanite und Lapillituffe des Westfal zwischen dem Unterkambrium-Vorkommen von Ludwigsdorf–Kunnersdorf erbohrt und darüber hinaus in der Wismut-Bohrung Wis 406/71 steilgestellt bis zur Endteufe von 286,9 m angetroffen. Andererseits ragt im südwestlichen Randbereich des Permokarbon-Troges horstartig das variszische Grundgebirge mit der Fortsetzung des Wojcieszów-Kalksteins der Bolków-Einheit im Kaczawa-Metamorphitkomplex (siehe unten) zwischen der Aufschiebung der Lubań-Einheit und der vermutlichen Fortsetzung des Lausitzer Hauptabbruches bei Lwówek (Löwenberg) heraus.

Die Lubań-Einheit selbst wird von siliziklastischen, kambroordovizischen Schelfablagerungen Perigondwanas aufgebaut, die vom unterkarbonen Turbiditflysch und folgendem Wildflysch gekappt werden. Der unterkarbone Flysch der Lubań-Einheit zeichnet sich durch Karbonate als Kalkturbidite (Steinbruch Lubań, SCHWARZBACH 1936) und Kalkstein-Olistolithe mit Conodonten des Famenne (Steinbruch Ubocze) und Visé (Steinbruch Rzasiny, CHO-

ROWSKA 1978) aus. Dieser Bau setzt sich am SSW-Rand des Görlitzer Schiefergebirges fort und ist nordnordöstlich der Innerlausitzer Störung als schmaler Streifen verfolgbar. Am SSW-Rand des Görlitzer Schiefergebirges sind nordwestlich Kunnersdorf (Steinbruch am Geiersberg) Karbonate aufgeschlossen (zuletzt FÖRSTER 2011). Nordnordöstlich Wiesa sind oberordovizische Quarzitschiefer und Quarzite durch die Wismut-Erkundung erbohrt worden und werden dem perigondwanischen Schelf zugeordnet (GÖTHEL 2001). In der Hohen Dubrau des Görlitzer Schiefergebirges wird die Innerlausitzer Störung vom perigondwanischen Schelf lokal überlappt. Dort lagert der Dubrau-Quarzit mit Brachiopoden-Anhäufungen des Unterordovizium diskordant auf dem cadomischen Fundament Perigondwanas (LINNEMANN & BUSCHMANN 1995), bestehend aus Turbiditen des Ediacarium. Zu diesem Streifen perigondwanischer Schelfablagerungen gehören auch die Unterkambrium-Vorkommen der Steinbrüche Kunnersdorf und Ludwigsdorf, die sich durch eine Small-Shelly-Fauna in Kalksteinen und Trilobiten sowie Brachiopoden in darauf übergehenden Rotschiefern (ELICKI & SCHNEIDER 1992, GEYER & ELICKI 1995) auszeichnen. Die Unterkambrium-Vorkommen sind in die heute SW gerichtete Stapelung des distalen Randes vom Akkretions- und Melange-Komplex des Görlitzer Schiefergebirges integriert (GÖTHEL & ELICKI 1996). Der Akkretions- und Melangekomplex bestimmt den überwiegenden Bau des Görlitzer Schiefergebirges und wird durch Wildflysch-Ablagerungen mit Olistolithen des Unterordovizium bis Unterkarbon ausgezeichnet, der den unterkarbonen Turbiditflysch überlagert (THOMAS 1990, siehe GÖTHEL 2018). In die Stapelung des Akkretionskeils wurden dabei Späne des subduzierten Ozeanbodens aufgenommen. Damit zeichnet sich der Akkretions- und Melangekomplex durch ozeanbodenähnliche Magmatite und Tiefseeablagerungen, wie Hornsteine und Kieselschiefer aus, die als Olistolithe umgelagert im Wildflysch wiederzufinden sind. Östlich der Neiße sind nördlich Jędrzychowice vom distalen Rand des Akkretions- und Melangekomplexes u. a. neben gabbroiden Magmatiten und basaltoiden bis andesitoiden Magmatiten auch Blauschiefer (WAJSPRYCH & ACHRAMOWICZ 2003) integriert, die Subduktion bestätigen. Die restlichen Piggy-Back-Becken im und am Rand des Akkretionskeils sind mit seinen Abtragungsprodukten aufgefüllt. Als Kieselschiefer-Hornstein-Konglomerat sind sie an der Innerlausitzer Störung obertägig in Streifen verbreitet und in Kunnersdorf am besten aufgeschlossen.

Im Zwickel zwischen Innersudetischer Hauptverwerfung und Sudetenrandbruch wird der variszische Akkretions- und Melangekomplex des Görlitzer Schiefergebirges im Bober-Katzbach-Gebirge (Kaczawa-Metamorphitkomplex) fortgesetzt aber im tieferen, parautochthonen, epizonal metamorphen Niveau obertägig angeschnitten. Weit verbreitet sind deshalb vor allem Metabasaltoide, zu denen saure und intermediäre Riftvulkanite hinzukommen. Wildflysch- und Melange-Vorkommen bleiben lokal beschränkt verbreitet (BARANOWSKI et al. 1990). Der Wojcieszów-Kalkstein (u. a. Kauffunger Zebrakalkstein) mit zahlreichen unterkambr-

schen Archaeocythen bei Mysłów (BIAŁEK et al. 2007) ist im Gegensatz zu den Unterkambrium-Vorkommen von Ludwigsdorf–Kunnersdorf mit Metabasalten der Bolków-Einheit assoziiert. In dieser Einheit kommen insbesondere die sauren bis intermediären Riftvulkanite des Oberkambrium (Oselka-Metarhyodazit,  $502 \pm 3$  Ma) und des Unterordovizium (Lubrza-Metatrachyt,  $486 \pm 2$  Ma) hinzu, in denen Blauschiefer-Metamorphose durch Subduktion nachgewiesen ist (KRYZA et al. 2007, 2011). Darüber sind die Metabasalte mit den Graptolithenschiefern des Silur assoziiert. Zwischen den Vulkaniten der Bolków-Einheit und der hauptsächlich kambroordovizischen, siliziklastischen Świerzawa-Einheit sind die Radzimovice-Schiefer (Altenberger Schiefer) verbreitet, die mit ihrer dunkelgrauen Ausbildung bis zum Schwarzschiefer und ihren chaotisch eingelagerten Blöcken (URBANEK & BARANOWSKI 1986) als Ablagerungen des Tiefseegrabens interpretiert werden können. An zahlreichen Stellen wird im Bober-Katzbach-Gebirge der Kaczawa-Metamorphitkomplex von Vulkaniten des Unterrotliegend durchbrochen und überlagert (BARANOWSKI et al. 1990). In den zwischen den Gebirgseinheiten befindlichen ober-tägigen Ausbissbuchten des Permokarbon-Troges, wie im Świerzawa-Graben, können die z. T. bereits zum Stephan gehörenden Basissedimente noch zwischen variszischem Grundgebirge und Unterrotliegend-Vulkaniten lagern.

Vom NE-Rand des variszischen Akkretions- und Melangekomplexes des Görlitzer Schiefergebirges wird die extramontane Niederlausitz-Nordsudetische Permokarbonenke in der niederschlesischen Oberlausitz südlich Zietschen an den Lausitzer Hauptabbruch verlagert. Weiter nordwestlich ist der Randbereich des Permokarbon-Troges im Bereich der Struktur Mulkwitz im Grenzbereich Sachsens zu Brandenburg gekippt, so dass das variszische Grundgebirge zwischen der Puschwitzer Querstörung und dem Bruchbereich der SSW–NNE verlaufenden Hoyerswerdaer Querstörung (BRAUSE 1964, WETZEL 1985), vom Zechstein unter Fehlen des Rotliegend im Zentralbereich und im WNW-Rand dieser Struktur bedeckt wird. Vom Zentralbereich in Richtung Lausitzer Hauptabbruch nach SW ist Rotliegend bisher nicht erbohrt worden, aber infolge der Konfiguration der Oberkreide der Nordsudetischen Kreidesenke und der in der Wismutbohrung Wis 1975/66 durchteuften Abschiebung anzunehmen. In Richtung NE-Flanke der Struktur Mulkwitz, die vom Oberkreidegraben von Weißwasser (GÖTHEL & TRÖGER 2002) gekennzeichnet wird, ist eine Zunahme der Mächtigkeit des Rotliegend zwar erkundet, der Richtungstrend nach NE bis E wird jedoch infolge bruchtektonischer Zerschering und Zerblickung mehrmals unterbrochen. Das variszische Grundgebirge ist im Bereich der Struktur Mulkwitz in etlichen Bohrungen des Erkundungsobjektes Spremberg erbohrt worden. Im Bereich der Hoyerswerdaer Querstörung konnten in der Bohrung Spremberg Cu Sp H8/71 unter 26 m Rotliegend und 2 m Störungsbrekzie, 293,2 m des variszischen Grundgebirges ab einer Teufe von 1 002,8 m beispielhaft, für das in den anderen Kartierungs- und Kupfererkundungsbohrungen Spremberg Angetroffene, erbohrt werden. Die durchteuften turbiditischen Folgen, mit zum Liegenden abnehmen-

der Mächtigkeit von quarzitischen Grauwackenbänken und quarzitischen Lagen mit Rutschungsstrukturen, entwickeln sich aus dunkelgrauen Ton-, Schluff- und Schwarzschiefern. Die Schieferfolge ist mit der in den Schwarzschiefern enthaltenen Ichnofauna des unterkarbonen „Kulm“-Dachschiefers von Wurzbach in der Frankenwälder Querzone des Thüringer Schiefergebirges vergleichbar. Außerdem fallen seltene Brachiopoden-, Bivalven- und Pflanzenreste auf. Zuunterst wurden grüngraue, mehr oder weniger kieselige Pelite, z. T. graugrüne Kieselschiefer erbohrt, die mit ihrer Conodonten-Fauna dem Famenne zugeordnet sind (HENNIG et al. 1972) und nach oben in die Schwarzschiefer mit ihrer mehrmaligen Einschaltung übergehen. Ob diese Einschaltungen durch Faltungsschuppen hervorgerufen oder bruchtektonisch durch eine Störungszone bestimmt werden, kann mit dem inzwischen schlechten Zustand der Kernstrecke nicht mehr nachvollzogen werden. Die zum Hangenden gröberklastisch werdenden Ablagerungen aus der Bohrung Cu Sp H8/71 zeigen einen proximalen Trend der turbiditischen Entwicklung. Nordwestlich der Hoyerswerdaer Querstörung wurde in der Bohrung Drebkau E Drk 1/63 unter 302,2 m Sandsteinen des Rotliegend (vermutlich des Oberrotliegend II) ab einer Teufe von 1 846,0 m eine turbiditische Grauwacken-Pelitschiefer-Folge angetroffen. Sie ist nicht intern deformiert, daher nicht geschiefert. Nach dem Klastenbestand werden altersgleiche intermediäre bis saure Vulkanite als Hauptlieferant für den Detritus angesehen (BANKWITZ & BANKWITZ 1991). Auch wurden keine Metamorphitklasten beobachtet. Am ehesten könnte es sich danach um die Umlagerung von Vulkaniten eines im Unterkarbon aktiven Inselbogens handeln. Sie lassen sich am wahrscheinlichsten dem proximalen Bereich des Fore-Arc-Beckens zwischen Akkretions- und Melangekomplex des Görlitzer Schiefergebirges und einem Inselbogen im Bereich der Mitteldeutschen Kristallzone zuordnen. Die südöstlich der Hoyerswerdaer Querstörung im Bereich der Struktur Mulkwitz angetroffenen und oben beschriebenen Prärotliegend-Ablagerungen lassen sich in ein tieferes Schieferstockwerk des Fore-Arc-Beckens einordnen. Die grüngraue und graugrüne Schiefer- und Kieselschiefer-Folge des Famenne ist lithologisch mit der aus den Kartierungsbohrungen Nordrand Sächsische Lausitz (Spreetal) Kb NSL 30/64 und Spremberg Kb Sp 38/59 vergleichbar (HENNIG et al. 1972). Diese Bohrungen befinden sich bereits im bruchtektonisch vom Lausitzer Hauptabbruch geprägten NNE-Rand des Görlitzer Schiefergebirges. Ebenfalls hier ist in der Kartierungsbohrung Spremberg Kb Sp 37/60 auch eine tektonische Melange mit phyllonitischen Einschüppungen erbohrt worden, die ihren variszischen Suturcharakter zwischen Akkretions- und Melangekomplex des Görlitzer Schiefergebirges und des nordnordöstlich anschließenden Fore-Arc-Beckens unterstreicht.

Nordwestlich der Hoyerswerdaer Querstörung setzt sich der Permokarbon-Trog wieder am Lausitzer Hauptabbruch mit Überlappungen auf den Lausitzer Block bis zum anschließenden Torgau-Doberluger Synklinorium sowie in die Südliche Phyllitzone der Mitteldeutschen Kristallzone fort. Mit Ausklingen des vertikalen Versatzes vom Lausit-

zer Hauptabbruch verliert sich sein SW-Rand im Bereich der Mitteldeutschen Kristallinzone und ihrer Nördlichen Phyllitzone. In diesem Bereich geht die extramontane Niederlausitz-Nordsudetische Permokarbonsenke allmählich in die Norddeutsch-Polnische Senke über.

## 2 Ausbildung des Rotliegend aus der Bohrung Spremberg Cu Sp 83/60 – vulkanisch geprägtes Unterrotliegend

Die Bohrung Spremberg Cu Sp 83/60 befindet sich im Bruchbereich unmittelbar östlich der Schnittstelle von Puschwitzer Querstörung und Nochtener Graben, einer Dilatationszone zwischen der NE-Flanke der Struktur Mulkwitz und der NW–SE verlaufenden Nochtener Störung, die spitzwinklig die S-Flanke der Struktur quert (GÖTHEL & TRÖGER 2002). Unter Zechsteinkonglomerat (GÖTHEL 2012) wurden limnisch-fluviatile Ablagerungen des Rotliegend erbohrt, die partienweise mehr oder weniger vulkanische Klaster enthalten und vom Vulkanismus geprägt sind (Einbl. I, Abb. 2). Die Ablagerungen sind überwiegend rotbraun gefärbt. Hauptsächlich die Partien von Schluff- und Tonsteinen weisen charakteristische hellgrüngraue Bleichungsstellen auf. Nach den erbohrten Sedimenten lassen sich drei lithologische Folgen unterscheiden und ausgrenzen.

Die Lapilli reiche Fanglomerat-Folge wurde zuunterst mit 2,55 m Mächtigkeit nicht durchteuft. Sie besteht wechselnd aus Grob-, Mittel-, und Feinkonglomeraten sowie Grobsandsteinen. Zum Teil können die Bänke durch Schluffstein-Lagen getrennt sein. Charakteristisch sind darin violettgraue, bimsartige Lavafetzen und Lapilli sowie hellgrüngraue Bleichungsstellen. Nach oben kommen 0,2 m tonige Schuffsteine hinzu, die basal feinsandige Lagen mit grobsandigen Körnern beinhalten.

Die darüber folgende Schluffstein-Folge von 5,25 m Mächtigkeit beginnt mit 0,97 m tonigem Schluffstein, der grobsandig-feinkiesige Tuffit-Lagen mit charakteristischen hellgrüngrauen Bleichungsstellen enthält und sich damit aus der vorherigen Folge entwickelt. In den darüber folgenden Schluffsteinen kommt das Ichnofossil *Scoyenia* sp. vor.

Mit 21,88 m Mächtigkeit stellt die Fanglomerat-Sandstein-Folge den Hauptanteil des erbohrten Rotliegend. Sie beginnt zunächst mit Sandsteinen, in die Schluff- und Tonsteinpakete und nach oben zunehmend Fein- bis Grobfanglomerate eingelagert sind. In den Sandsteinpartien fallen untergeordnet Schrägschichtungssets auf. Häufiger tritt vor allem in Feinsandsteinen ebene Feinschichtung und Flaserschichtung wie in den Schluffsteinen auf. Häufig werden die Schluff- und Tonsteine durch linsige Feinschichtung mit Feinsandsteinlinsen und ebener Feinschichtung ausgezeichnet. In den Fanglomeraten sind Strömungsrinnen zu beobachten. Schräg einfallende Schichtunterkanten können als Rinnenbasis interpretiert werden. Im zuoberst erbohrten Grobfanglomeratpaket fällt eine Lage mit flachen Geröl-

len auf, die als fluviatile Reaktivierungsfläche interpretiert wird. In den Fanglomeraten kommen immer wieder violettgraue, bimsartige Lapilli und Bomben vor. Die bimsartigen Bomben können von Abkühlungskrusten ummantelt sein. Zur rotbraunen Färbung kommen neben Bleichungsstellen auch geringmächtige, gebleichte Lagen in Feinsandsteinen und Tonsteinen hinzu. Diese Folge wird durch einen Mafitgang (vermutlich Kersantit) von 6 cm Breite durchschlagen. Der umgebende Feinsandstein wurde dabei gefrittet.

Die Fanglomerate der zuunterst erbohrten Folge weisen einen höheren Matrixanteil als die der darüber erbohrten Folgen auf. Deshalb sind sie von hellgrüngrauen Bleichungsstellen gekennzeichnet und noch unsortierter als die im Hangenden folgenden Fanglomerate. Die bimsartigen Lapilli und Bomben zeugen von Vulkanismus in der näheren Umgebung. Die Abkühlungskruste einer Bombe belegt, dass der Vulkanismus auch während der Schüttung der Fanglomerat-Sandstein-Folge aktiv war. Die Fanglomerate und Sandsteine werden einem alluvialen Schuttfächer zugeordnet, dessen Schüttung von einem Schildvulkan ausging. Die Schüttung erreichte mit tuffitischen Turbidit-Lagen eine temporäre, fluviatile Überschwemmungsebene mit einem See, in dem der Grabgangerzeuger *Scoyenia* sp. lebte. Da er nicht aus dem Oberrotliegenden bekannt ist und der Vulkanismus hauptsächlich im Unterrotliegend stattfand, wird das gesamte erbohrte Rotliegend dem Unterrotliegend zugeordnet.

## 3 Erkundungsstand zur Ausbildung des Rotliegend im Umfeld der Bohrung Spremberg Cu Sp 83/60 – sedimentäres Oberrotliegend II

Bisher ist nicht bekannt, ob die Permokarbon-Füllung nur an den bruchtektonisch kontrollierten Trogrändern abschnittsweise Oberkarbon, Unterrotliegend-Vulkanite und deren Abtragungsprodukte beinhaltet und wann die Ablagerungen im Oberrotliegend darüber greifen. Anzunehmen ist ihr hauptsächliches Einsetzen mit der Elbe-Subgruppe im Oberrotliegend II (siehe GÖTHEL 2018). In der Bohrung Spremberg Cu Sp 63E/60 lagert das Rotliegend auf gradierten, turbiditischen Feingrauacken des variszischen Grundgebirges. Über einem 0,2 m fanglomeratischen Basis-sandstein folgen Sandsteine mit grobsandigen Lagen bzw. mit lagenweiser Grobsand-Anreicherung und vereinzelt Klaster von 1 x 2 cm, die vom Zechsteinkonglomerat transgressiv gekappt wurden. Diese Rotliegend-Ablagerungen werden hauptsächlich einer trockenen Sandebene zugeordnet, die sich auf einer fluviatilen Basis bildete. Ein ähnliches Profil mit etwas größerer Rotliegend-Ausbildung liegt aus der Bohrung Spremberg Cu Sp 121h/72 vor. In der Bohrung Spremberg Cu Sp 104/61 wurde unter dem Zechsteinkonglomerat ein feinsandiger Mittelsandstein mit feinschichtigen grobsandigen Lagen, die gut gerundete Körner (Auswehpflaster) aber auch eckige Körner (Saltationsfracht) von 2 bis 3 mm Durchmesser beinhalten, angetroffen. Auch diese Ablagerungen werden einer trockenen Sandebene

zugeordnet, die durch Auswehnpflaster von 3 mm bis 1 cm Mächtigkeit und Sprungpflaster durch Saltationsfracht charakterisiert werden. Auch in der Bohrung Spremberg Cu Sp 117/72 ist – jedoch bereits direkt unter dem Kupferschiefer – ein Mittelsandstein mit feinschichtigen, grobsandigen Lagen angetroffen worden, der oben einer trockenen Sandebene zugeordnet werden kann. Die Sandebene lagert auf zwei Schrägschichtungssets, die durch eine Reaktivierungsfläche getrennt und als Sanddünen interpretiert werden. Aus der Bohrung Spremberg Cu Sp 122/73 kommen dazu noch feinschichtige, gestreifte Sandsteine, die einer feuchten Sandebene zugeordnet werden, hinzu. Sie überlagern einen Schluff, der als fluviatil-distales Stromsediment interpretiert wird. Mit Ausnahme dieses Schluffes (vermutlich zum Unterrotliegend gehörend) sind all diese Ablagerungen für das Oberrotliegend II typisch (LEGLER et al. 2010). Sie wurden in Bohrungen angetroffen, die sich hauptsächlich nordwestlich und lokal im Bereich der Bruchzone der Hoyerswerdaer Querstörung (Spremberg Cu Sp H9/76) befinden. Die Bohrung Spremberg Cu Sp 117/72 befindet sich, unmittelbar südöstlich des zu dieser Bruchzone gehörenden Türkendorfer Oberkreidegrabens gelegen, bereits im Verbreitungsaum des Oberrotliegend II im nordöstlichen Randbereich der Struktur Mulkwitz. Im ost-südöstlichen anschließenden Bereich der Struktur Mulkwitz sind solche Ablagerungen nicht erbohrt worden. Dort scheint das Oberrotliegend II nicht, dafür aber das Unterrotliegend, verbreitet zu sein.

### Zusammenfassung

Die in der Bohrung Spremberg Cu Sp 83/60 angetroffenen Rotliegend-Ablagerungen sind mit dem hauptsächlich im Unterrotliegend stattfindenden Vulkanismus im Zusammenhang zu sehen. Sie werden unter Fehlen des Oberrotliegend vom Zechsteinkonglomerat gekappt. Ablagerungen des Oberrotliegend sind bisher nicht aus der unmittelbaren Umgebung der Bohrung, dem überwiegenden Bereich der Struktur Mulkwitz, nachgewiesen. Nachweisbar erreicht die Verbreitung von Oberrotliegend II den nordöstlichen Rand der Struktur Mulkwitz. Seine Verbreitung ist lokal im WNW-Rand dieser Struktur, in der Bruchzone der Hoyerswerdaer Querstörung, belegt. Dort und unmittelbar westnordwestlich dieser Bruchzone lagert das Oberrotliegend II unter Fehlen von Unterrotliegend winkeldiskordant auf dem variszischen Untergrund. Hauptsächlich ist Oberrotliegend II nordwestlich davon erbohrt, aber nur in der Bohrung Drebkau E Drk 1/63 durchteuft worden. Auch dort fehlt Unterrotliegend. Die randliche Konfiguration der Niederlausitz-Nordsudetischen Permokarbonsenke ist in Zusammenhang mit Suturezonen der variszischen Bauteile zu sehen. Der Erkundungs- und Kenntnisstand zu den variszischen Bauteilen wird deshalb ausführlich dargelegt. Auch die beiden Bohrungen befinden sich in dieser extramontanen Permokarbon-Senke. In NW-Richtung, zur Südlichen Perm-Senke hin, ist diese Senke offen. SW- und NE-Rand der Niederlausitz-Nordsudetischen Permokarbonsenke laufen in Richtung SE spitzwinkelig aufeinander zu. Der Ver-

lauf der Senkenränder wird bruchtektonisch von postvariszischen Strike-Slip-Bewegungen und damit hauptsächlich durch dextrale Seitenverschiebungen an den Mitteldeutschen Abbrüchen unter Bildung von Akkomodationszonen bestimmt. Durch Reaktivierungen der Mitteldeutschen Abbrüche zwischen der Norddeutsch-Polnischen Senke und den Mittelgebirgen der Westsudeteten zeichnen die Ostbrandenburgische und Nordsudetische Kreidesenke die Konfiguration der Niederlausitz-Nordsudetischen Permokarbonsenke nach.

### Summary

The Rotliegend deposits of the drilling Spremberg Cu Sp 83/60 are connected with the Volcanism, mainly of the Unterrotliegend. This deposits are overlaid by the Zechsteinkonglomerat without Oberrotliegend deposits. Oberrotliegend deposits can not be evidenced in the predominant part of the structure Mulkwitz, nearby this drilling also. The range of the Oberrotliegend II deposits lies into the north-eastly margin of the structure Mulkwitz. This range is evidenced also, only local into the WNW margin of this structure, into the rupture area of the Hoyerswerda fault zone. The Oberrotliegend II deposits layered of the Variscan basement without Unterrotliegend deposits and volcanics over there, and in the WNW also. Oberrotliegend II deposits are drilled in the NW over there also, but only sink through of the borehole Drebkau E Drk 1/63. Unterrotliegend deposits and volcanics are over there absent also. The marginal configuration of the Niederlausitz-Northsudetetic Permocarboniferous basin is connected with the suture zones of the Variscan structural components. Therefore the state of the exploration and of the knowledge about the Variscan structural components is described detailly. These both drillings are situated in this extramontane Permocarboniferous basin also. In NW direction, to the Southern Permian basin, this basin is open. The SW and the NE margin of this Niederlausitz-Northsudetetic basin are directed to SE at an acute angle. This basin margins are controlled by the post-variscan strike-slip movements, and mainly determined under development of accommodation zones by the dextral lateral shift on the Central German faults. The configuration of the Eastbrandenburg and Northsudetetic Cretaceous basins conforms with the Niederlausitz-Northsudetetic Permocarboniferous basin due to the reactivation of the Central German fault system between Northgerman-Polish basin and the Westsudetetic hills and subdued mountains.

### Danksagung

Die Anregung zu dieser Arbeit fand ich nach einem Arbeitstreffen zum Liegenden des Kupferschiefers mit Herrn Prof. Dr. Jörg Schneider/TU Bergakademie Freiberg am 05.11.2010 und der gemeinsamen Betreuung der Diplomarbeit von Frau Diana Hermann zum basalen Zechstein vom 01.08.2009 bis zum 24.06.2010. Durch ihren Fleiß

konnten sämtliche im Bohrkernlager Wünsdorf 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. Der fruchtbare wissenschaftliche Austausch und Argumentationsstreit mit Herrn Prof. Dr. Jörg Schneider wird mir stets in guter Erinnerung bleiben und Vorbild sein. Dafür sei ihm herzlichst gedankt. Mein Kollege Herr Andreas Simon fotografierte die Bohrkernproben der Bohrung Spremberg Cu Sp 83/60. Insbesondere danke ich Herrn Dr. Hans Ulrich Thieke für die kritische Korrekturlesung des Manuskripts.

## Literatur

- BACH, D., DIEBEL, L., HALLER, W. & I. KUNZ (1991): Die Ausbildung des Malm in der Bohrung Herzfelde (Ostbrandenburg). – *Z. angew. Geol.* **37**, 1, S. 20–25
- BALTRUSCH, S. & S. KLARNER. (1993): Rotliegend-Gräben in NE-Brandenburg. – *Z. dt. geol. Ges.* **144**, S. 173–186
- BANKWITZ, P. & E. BANKWITZ (1991): Proterozoische und paläozoische Schieferfolgen am Nordrand der Lausitz (Bohrungen Drehna und Drebkau). – In: GESELLSCHAFT FÜR GEOLOGISCHE WISSENSCHAFTEN (Hrsg.): *Geologie und Lagerstätten der Niederlausitz*. – Tagungsmaterial, Kurzfassungen und Exkursionsführer der 38. Jahrestagung in Cottbus, 19.–22. Okt. 1991. – *GGW* **10/1991**, S. 23–24
- BARANOWSKI, Z., HAYDUKIEWICZ, A., KRYZA, R., LORENC, S., MUSZYŃSKI, A., SOLECKI, A. & Z. URBANEK (1990): Outline of the geology of the Góry Kaczawskie (Sudetes, Poland). – *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.* **179**, 2/3, S. 223–257
- BIALEK, D., RACZYŃSKI, P., SZTAJNER, P. & D. ZAWADZKI (2007): Archeocyty wapieni wojcieszowskich. – *Przegląd Geologiczny* **55**, 12/2, S. 1112–1116
- BRAUSE, H. (1964): Untergrundbedingte Braunkohlenlageungsverhältnisse in der Umgebung von Hoyerswerda. – *Z. angew. Geol.* **10**, 8, S. 493–498
- BRAUSE, H. (1969): Das verdeckte Altpaläozoikum der Lausitz und seine regionale Stellung. – *Abh. d. dt. Akad. d. Wiss. z. Berlin* **1**, 243 S.
- BÜCHNER, J. & O. TIETZ (2012): Reconstruction of the Landeskrone Scoria Cone in the Lusatian Volcanic Field, Eastern Germany – Long-term degradation of volcanic edifices and implications for landscape evolution. – *Geomorphology* **151–152**, S. 175–187
- CHOROWSKA, M. (1978): Wizeńskie apienie w epimetamorficznym kompleksie Gór Kaczawskich (Sudety). – *Rocz. Pol. Tow. Geol.* **48**, 2, S. 245–261
- DON, J. & A. ŻELAŻNIEWICZ (1990): The Sudetes – boundaries, subdivision and tectonic position. – *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.* **179**, 2/3, S. 121–127.
- ELICKI, O. & J. SCHNEIDER (1992): Lower Cambrian (Atdabanian/Botomian) Shallow-Marine Carbonates of the Görlitz Synclinorium (Saxony/Germany). – *Facies* **26**, S. 55–66
- FÖRSTER, A. (2011): Mikrofazies und Profilentwicklung des Paläozoikums vom Geiersberg (Kunnersdorf, Lausitz). – Bachelorarbeit, Technische Universität Bergakademie Freiberg, 16.05.2011, 35 S., 3 Anl., 21 Taf. (unveröff.)
- FRANKE, D. & N. HOFFMANN (1999): Das Elbe-Lineament – bedeutende Geofraktur oder Phantomgebilde? – Teil 1: Die Referenzgebiete. – *Z. geol. Wiss.* **27**, 3/4, S. 279–318
- FRANKE, W., COCKS, L. R. M. & T. H. TORSVIK (2017): The Palaeozoic Variscan oceans revisited. – *Gondwana Research* **48**, S. 257–284
- FRANKE, W. & A. ŻELAŻNIEWICZ (2002): Structure and evolution of the Bohemian Arc. – In: WINCHESTER, J. A., PHARAOH, T. C. & J. VERNIERS (Eds.): *Palaeozoic Amalgamation of Central Europe*. – Geological Society, London, Special Publications **201**, S. 279–293
- GABRIEL G. (2003): Die gravimetrische Anomalie Baruth (Sachsen) – Aussagen über die Struktur eines verdeckten Maars. – *Z. Angew. Geol.* **49**, 1, S. 18–25
- GAST, R. E. (1993): Sequenzanalyse von äolischen Abfolgen im Rotliegenden und deren Verzahnung mit Küstensedimenten. – *Geol. Jb. A* **131**, S. 117–139
- GEYER, G. & O. ELICKI (1995): The Lower Cambrian trilobites from the Görlitz Synclinorium (Germany) – review and new results. – *Paläont. Z.* **69**, 1/2, S. 87–119
- GÖTHEL, M. (2001): Das autochthone und allochthone Paläozoikum des “Görlitzer Schiefergebirges” (Mitteleuropäische Varisziden, Deutschland). – *Z. geol. Wiss.* **29**, 1/2, S. 55–73
- GÖTHEL, M. (2012a): 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
- GÖTHEL, M. (2012b): Zur Zuordnung von Ablagerungssequenzen der Kreide in Ost-Brandenburg anhand aktueller makropaläontologischer sowie ereignis- und sequenzstratigraphischer Interpretation von Ergebnissen zur Bohrung Grunow Kb GrunEh 1/61. – *Brandenburg. geowiss. Beitr.* **19**, 1, S. 117–120

- GÖTHEL, M. (2018): Stratigraphie von Brandenburg 2018. – Brandenburg. geowiss. Beitr. **25**, 1/2, S. 47–50, 1 Einbl.
- GÖTHEL, M. & O. ELICKI (1996): Das Görlitzer Unterkambrium – eine variszische Duplexstruktur im Görlitzer Synclinorium? (Saxothuringikum, Sudetische Terrane, Sachsen). – Natur und Landschaft in der Niederlausitz **17**, S. 99–117
- GÖTHEL, M. & K. GRUNERT (1993): Neue Erkenntnisse aus der Braunkohlenerkundung zum Präkämzoikum der Lausitz. – Natur u. Landschaft i. d. Niederlausitz **14**, S. 35–56, 2 Anlagen
- GÖTHEL, M. & K. GRUNERT (1996): Neue Erkenntnisse aus der Braunkohlen-Erkundung zur Trias-Stratigraphie der Lausitzer Triasscholle. – Paläontologie, Stratigraphie, Fazies **3** – Freiburger Forschungshefte **C 464**, S. 175–204
- VON HAGKE, C. & A. MALZ (2018): Triangle zones – Geometry, kinematics, mechanics, and the need for appreciation of uncertainties. – Earth-Science Reviews **177**, S. 2–42
- HENNIG, D., SEELIGER, M., NEUBER, S., TAUBERT, P. & R. KÜHNE (1972): Ergebnisbericht über die Erkundung der geplanten Standorte des Hauptschachtes und Nebenschachtes Ost, Objekt Kupfer Spremberg 1970–1972. – VEB Geologische Forschung und Erkundung Halle, Betriebsteil Freiberg, 31.05.1972, 288 S., 92 Anl. (unveröff.)
- HIRSCHMANN, G. (1966): Assynthetische und variszische Baueinheiten im Grundgebirge der Oberlausitz. – Freiburger Forschungsheft **C 212**, 146 S., 2 Anl.
- HIRSCHMANN, G., WOLF, L. & H. LORENZ (1972): Erläuterungen zur Geologischen Spezialkarte der Deutschen Demokratischen Republik 1 : 25 000, Blatt Horka – Zedel 4775/4756, Stand 1967. – Zentrales Geologisches Institut, 253 S., Anhang mit 10 Beikarten, 2 Anl.
- KOPP, J., BANKWITZ, P. & R. KÖHLER (2001): Die Mitteldeutsche Kristallinzone (MKZ) zwischen Saale und Neiße. – Teil 1: Geologisches Erscheinungsbild und basischer Magmatismus. – Z. geol. Wiss. **29**, 1/2, S. 33–54
- KRYZA, R., MAZUR, S. & OBERC-DZIEDZIC (2004): The Sudectic geological mosaic: Insights into the root of the Variscan orogen. – Przegląd Geologiczny **52**, 8/2, S. 761–773
- KRYZA, R., ZALASIEWICZ, J. A., MAZUR, S., ALEKSANDROWSKI, P., SERGEEV, S. & S. PRESNYAKOV. (2007): Early Palaeozoic initial-rift volcanism in the Central European Variscides (the Kaczawa Mountains, Sudetes, SW Poland): evidence from SIMS dating of zircons. - Journal of the Geological Society, London, **164**, S. 1207–1215
- KRYZA, R., WILLNER, A. P., MASSONNE, H.-J., MUSZYŃSKI, A. & H.-P. SCHERTL (2011): Blueschist-facies metamorphism in the Kaczawa Mountains (Sudetes, SW Poland) of the Central-European Variscides: P-T constraints from a jadeite-bearing metatrachyte. – Mineralogical Magazine **75**, 1, S. 241–263
- LEGLER, B., SCHNEIDER, J. W., GEBHARDT, U., MERTEN, D. & R. GAUPP (2010): Lake deposits of moderate salinity as sensitive indicators of lake level fluctuations: Example from the Upper Rotliegend saline lake (Middle–Late Permian, Northeast Germany). – Sedimentary Geology **234**, S. 56–69
- LINDNER, H. & H. BRAUSE (1967): Das Schwereminimum von Kleinsaubernitz. – Z. angew. Geol. **13**, 2, S. 95–102
- LINDEMANN, U. & B. BUSCHMANN (1995): Die cadomische Diskordanz im Saxothuringikum (oberkambrisch-tremadocische overlap-Sequenzen). – Z. geol. Wiss. **23**, 5/6, S. 707–727
- MAZUR, S., ALEKSANDROWSKI, P. & J. SZCZEPAŃSKI (2010): Zarys budowy i ewolucji tektonicznej waryscyjskiej struktury Sudetów. – Przegląd Geologiczny **58**, 2, S. 133–145
- MIKULSKI, Z. & I. S. WILLIAMS (2014): Zirkon U-Pb dating of igneous rocks in the Radzimowice and Wielisław Złotoryjski Auriferous polymetallic deposits, Sudetes, SW Poland. – Annales Societatis Geologorum Poloniae **84**, S. 213–233
- NÖLDEKE, W. & G. SCHWAB (1977): Zur tektonischen Entwicklung des Tafeldeckgebirges der Norddeutsch-Polnischen Senke unter besonderer Berücksichtigung der DDR. – Z. angew. Geol. **23**, 8, S. 369–379
- OSTROMECKI, A. (1973): Development of the late Paleozoic sedimentary basin of the Kaczawa Mountains. – Roczn. Pol. Tow. Geol. **43**, 3, S. 319–362
- ROSELT, G. (1959): Karbonische Pflanzenreste in einem Tuffit aus der Lausitz. – Geologie **8**, 7, S. 778–787
- SCHNEIDER, J. & U. GEBHARDT (1993): Litho- und Biofaziesmuster in intra- und extramontanen Senken des Rotliegend (Perm, Nord- und Ostdeutschland). – Geol. Jb. **A 131**, S. 57–98
- SCHWARZBACH, M. (1936): Oberlausitzer Schiefergebirge und Boberkatzbachgebirge – ein stratigraphisch-tektonischer Vergleich. – Abh. Naturforsch. Ges. Görlitz **32**, 3, S. 31–63
- STANEK, K., DOMÍNGUEZ-GONZALEZ, L., ANDREANI, L. & B. BRÄUTIGAM (2016): Tektonische und geomorphologische 3D-Modellierung der tertiären Einheiten der sächsischen Lausitz. – Schriftenreihe des LfULG **19**, 85 S.
- SUHR, P. & K. GOTH (2002): Maare – eine lange Zeit unbekannte Erscheinungsform des tertiären Vulkanismus in der Oberlausitz. – Ber. Naturforsch. Ges. Oberlausitz **10**, S. 27–35

THOMAS, U. (1990): Unterkarbonische Wildflysch-Ablagerungen im Südtteil der DDR. – Z. angew. Geol. **36**, 5, S. 182–184

URBANEK, Z. & Z. BARANOWSKI (1986): Revision of age of the Radzimowice Slates from Góry Kaczawskie Mts. (Western Sudetes, Poland) based on Conodonts. – Annales Societatis Geologorum Poloniae **56**, S. 399–408

VOIGT, T. (2009): Die Lausitz-Riesengebirgs-Antiklinalzone als kreidezeitliche Inversionsstruktur: Geologische Hinweise aus den umgebenden Kreidebecken. – Z. geol. Wiss. **37**, 1-2, S. 15–39

WAJSPRYCH, B. & S. ACHRAMOWICZ (2003): On the new wild-flysch-to-Flysch, blueschist-rich lower Visean succession of the Western Sudetes (SW Poland). – Annales Societatis Geologorum Poloniae **73**, S. 123–137

WEINLICH, M. (1991): Rotliegendbruchsystem und basaler Zechstein in Brandenburg. – Z. dt. geol. Ges. **142**, S. 199–207

WETZEL, H.-U. (1985): Interpretation von Bruchzonen im Osterzgebirge und ihre Fortsetzung in Deckgebirgseinheiten der Lausitz. – Z. geol. Wiss. **13**, 1, 111–121

**Anschrift des Autors:**

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

## Nachruf

### Dr. Volker Manhenke verstorben (29.05.1939 – 23.04.2019)

Kurz vor Vollendung seines 80sten Lebensjahres verstarb Dipl.-Geologe Dr. Volker Manhenke. Als langjähriger Fachabteilungsleiter im Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg (LGRB) sowie als Stellvertretender Direktor hat Volker Manhenke markante Spuren hinterlassen, die noch lange in die Zukunft wirken werden. Sein Geologie-Studium absolvierte er bis 1963 an der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald. Wichtige Stationen seiner geologischen Tätigkeit waren: Die damalige Bezirksstelle für Geologie in Potsdam (für den Bezirk Potsdam), die Arbeitsstelle Leipzig des Kombinati Geologische Forschung und Erkundung (GFE) und später dessen Zentrale in Halle sowie seit 1993 das kurz zuvor gegründete Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg (LGRB, jetzt Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe LBGR). Hohe Praxisrelevanz ist das einigende Band dieser Tätigkeiten, ob in der Bezirksstelle, der sächsischen Braunkohle, genauer: in der Deckgebirgsbewertung nach hydrogeologischen Gesichtspunkten oder dann wie-



der in seiner brandenburgischen Heimat im Geologischen Landesdienst.

Zuerst als Abteilungsleiter für Hydrogeologie und Rohstoffe, dann als solcher für Angewandte Geologie und schließlich für Geologische Kartierung und Geopotenziale und seit 1998 als Stellvertretender Direktor nahm Dr. Volker Manhenke sehr erfolgreich Einfluss auf die fachliche Grundorientierung und Aufgabenerfüllung des Geologischen Dienstes. Seine Arbeit zeichnete sich stets durch Konstruktivität und hohe Zielorientierung aus. Einmal von ihm als wichtig und notwendig erkannte fachliche und personelle Entscheidungen wurden mit großem persönlichem Einsatz und mit hohem Durchsetzungsvermögen realisiert. Und die Ergebnisse sprechen für sich: Mit neuen geologischen und rohstoffbewertenden Ergebnissen konnte die Kenntnis über Brandenburgs Geopotenziale wesentlich verbessert werden. Hierzu rechnet u.a. die unter seiner Leitung schon kurz nach Gründung des LGRB vorgelegte landesweite Bewertung der oberflächennahen Rohstoffpotenziale Brandenburgs (Karte der oberflächennahen Rohstoffe, KOR 50) und die Förderung der räumlichen Darstellung geologischer und hydrogeologischer Sachverhalte durch ein enges Netz von geologischen Profilschnitten (HYK 50). Die Schlagworte seiner zahlreichen schriftlichen Publikationen und thematischen geologischen Karten belegen diese strikte Orientierung auf die praktischen Aussagemöglichkeiten der Geologie: Braunkohlenerkundung, Lagerstätten, Montanhydrogeologie (übrigens schon 1968), Grundwasserhaushalt, Grundwasserbelastung, geologische Ressourcen (aus 1974), Kennwertermittlung aus Rotary-Bohrungen, Rationalisierung, Grundwasserleitermodell (1986), hydrogeologisches Großraummodell usw. und dann aus der Zeit am LGRB: Rohstoffsicherungskarten, Thematische Karten, Schnitttafeln, Grundwasserleiterkomplexe, Geotope, Naturdenkmale, Kulturerbe, Thermalsolebrunnen, Geopotentialbewertungen (auch der tiefliegenden) sowie Känozoikumskarten als letztes wichtiges Betätigungsfeld.

Überregionale Bedeutung erreichte die Korrelation der norddeutschen Grundwasserleiter, eine wesentliche Voraussetzung für die einheitliche Beschreibung der Grundwasser entsprechend der EU-Wasserrahmenrichtlinie. Als Mitherausgeber des in vier Auflagen erschienenen *Atlas zur Geologie von Brandenburg* hat Dr. Volker Manhenke auch einen wichtigen Beitrag zur Breitenwirksamkeit der Geologie in Berlin-Brandenburg geleistet.

Nicht nur die ehemaligen Kollegen des Geologischen Dienstes werden sich auch künftig gern an die gemeinsame Zeit des Aufbaus einer funktionierenden Landesgeologie am Standort Kleinmachnow erinnern. Volker Manhenkes erfolgreiche Bemühungen, den Kenntnisstand zu wichtigen Themenfeldern der angewandten Geologie und Geopotenzialbewertung zu mehren und für die Gesellschaft zugänglich zu machen wird ein bleibendes Ergebnis seiner engagierten Tätigkeit bleiben. Unser Mitgefühl ist bei seiner Familie; bewahren wir ihm ein ehrendes Gedenken.

Dr. Werner Stackebrandt, Potsdam

## Nachruf

### Diplom-Geologe Norbert Hermsdorf verstorben (11.03.1961 – 17.10.2019)

Im Alter von nur 58 Jahren ist unser langjähriger Kollege und Freund Norbert Hermsdorf nach schwerer Krankheit verstorben. Seit 2008 nahm er die Leitung des Dezernates Geologische Kartierung, heute Geologische Landesaufnahme und Geoarchiv im Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg wahr, wo er sich besonders auf dem Gebiet der Quartärgeologie Verdienste erwarb.

Nach einer Ausbildung zum Geologiefacharbeiter am Zentralinstitut für Physik der Erde (ZIPE) in Potsdam studierte er zwischen 1983 und 1988 an der Bergakademie Freiberg und an der Ernst-Moritz-Arndt-Universität in Greifswald. Im Jahr 1988 nahm er seine Tätigkeit – nunmehr als Diplom-Geologe – am ZIPE wieder auf, wo er als wissenschaftlicher Mitarbeiter bis 1991 beschäftigt war. Nach nur einmonatiger Arbeitslosigkeit wechselte er zum damaligen Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg (LGRB). Hier war er zunächst als Mitarbeiter im Dezernat Geologische Kartierung tätig.

Sein Aufgabenspektrum umfasste neben Bohrungs- und Aufschlussdokumentationen im Bereich des känozoischen Lockergebirges im Land Brandenburg vor allem in den Landkreisen Potsdam-Mittelmark, Havelland, Teltow-Fläming sowie Dahme-Spreewald und deren Qualifizierung und Verfügbarmachung für interne und externe Nutzer, hauptsächlich die Erstellung amtlicher geologischer Karten in unterschiedlichen Maßstäben. Von Bedeutung sind dabei insbesondere das Kartenwerk im Maßstab 1 : 100 000 und die Bearbeitung brandenburgischer Anteile am länderübergreifenden Kartenwerk der GÜK 200 sowie die Erarbeitung und Aktualisierung geologischer Strukturmodelle, so u. a. auch für das Lausitzer Revier.

Hervorzuheben ist auch seine langjährige Tätigkeit als Vertreter des Geologischen Dienstes Brandenburgs in der AG Geologie des Bund-Länder-Ausschusses Geologie (BLA-GEO). Seine fachliche Mitwirkung in diesem Gremium war im Kreise der Fachkollegen hoch geschätzt, insbesondere hierbei sein Engagement im beginnenden INSPIRE-Prozess.

Des Weiteren ist seine Tätigkeit als korrespondierendes Mitglied der Stratigraphischen Subkommission Quartär innerhalb der Deutschen Stratigraphischen Kommission (DSK) zu nennen.

Nach dem Ausscheiden des für die Geologische Landesaufnahme zuständigen Dezernenten übernahm Norbert Hermsdorf diese leitende Funktion im Jahre 2007 zunächst kommissarisch. In seiner Verantwortung lag in dieser Zeit auch die digitale Bereitstellung der GK 25 als EFRE-gefördertes



Projekt. Stets war er bereit, zusätzliche Aufgaben im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit, für das Sachgebiet Geotope, zur fachlichen Unterstützung der Geoparks usw. zu übernehmen.

Seit 2008 wurde ihm die Aufgabe der Dezernatsleitung auf Dauer übertragen, was mit einer Beförderung zum Geologiedirektor verbunden war.

Auch nach der Standortkonzentration des LBGR in Cottbus im Jahr 2009 nahm er diese Herausforderung an und brachte sich aktiv am Aufbau des Geologischen Dienstes ein. Seine Zuständigkeit hat sich auch durch die Zuordnung des Geoarchivs zum Dezernat Geologische Landesaufnahme nochmals erweitert.

Nach Feststellung seiner schweren Krankheit im April 2018 hoffte er stets auf Genesung, und es war sein erklärter Wunsch, weiter im Fachbereich tätig zu sein. Dieser Wunsch wurde leider nicht erfüllt.

An sein vielfältiges Wirken für den Geologischen Dienst Brandenburgs, welches sich in zahlreichen Karten und Schriften widerspiegelt, werden wir uns stets mit Hochachtung erinnern.

Angelika Seidemann, Cottbus

# 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 „Erdnaht“. – Geol. Rdsch. **41**, S. 78–90
- NIESCHE, H. & F. KRÜGER (1998): Das Oder-Hochwasser 1997 - Verlauf, Deichschäden und Deichverteidigung. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **5**, 1, S. 15–22
- FAUTH, H., HINDEL, R., SIEWERS, U. & J. ZINNER (1985): Geochemischer Atlas Bundesrepublik Deutschland 1 : 200 000. – 79 S., Hannover (Schweizerbart)
- KRONBERG, P. (1976): Photogeologie, eine Einführung in die Grundlagen und Methoden der geologischen Auswertung von Luftbildern. – 268 S., Stuttgart (Enke)

Autorennamen bitte in **Kapitälchen** 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

