

Beiträge
**zur 3D-Tiefengeologie im Grenzbereich Brandenburg/
Mecklenburg-Vorpommern und Polen,**
zum Standortauswahlverfahren für ein Endlager in Brandenburg,
zur Grundwassersanierung in Berlin,
zu Arteserhavarien in Brandenburg
und zu einem Fossilfund im Rixdofer Horizont bei Niederlehme

	INHALT	CONTENTS	Seite
CHRISTOPH JAHNKE, KARSTEN OBST, THOMAS HÖDING, EWA SZYNKARUK, ZBIGNIEW MAŁOLEPSZY, TOMASZ ŻUK, EMILIO L. PUEYO, CONXI AYALA	Entwicklung, Harmonisierung und Validierung geologischer 3D-Modelle im Grenzbereich Brandenburg/Mecklenburg- Vorpommern und Polen im Rahmen des europäischen Forschungsnetzwerkes GeoERA	Development, harmonizing and validation of geological 3D models in the border region of Brandenburg/Mecklenburg- Western Pomerania and Poland in the European Research Framework of GeoERA	7–26
BIRGIT FUTTERER & THOMAS HÖDING	Standortauswahlverfahren für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle in Deutschland – fachliche Grundlagen und Mitwirkung von Akteuren im Land Brandenburg, Stand des Verfahrens 2022	Site selection procedure for a nuclear waste repository in the FRG – technical basis and participation of stakeholders in the State of Brandenburg, status 2022	27–35
ANDREAS ZIMMERMANN & FRANK RAUCH	Langzeiterfahrungen zu Boden- und Grund- wassersanierungen in Berlin	Long-term experience of soil and groundwater remediations in Berlin	37–45
NORBERT SCHLAAK	Vom Umgang mit artesischen Verhältnissen in Brandenburg am Beispiel der Arteserhavarie von Eberswalde im Januar 2021	The handling of artesian conditions in Brandenburg using the example of the artesian accident in Eberswalde in January 2021	47–54
WOLF-DIETER HEINRICH & WERNER SCHULZ	Überraschender Fund von <i>Emys orbicularis</i> (LINNAEUS, 1758) aus dem weichselzeitlichen Rixdorfer Horizont der Kiessandgrube Niederlehme 2 (Königs Wusterhausen, Brandenburg)	A surprising record of <i>Emys orbicularis</i> (LINNAEUS, 1758) from the Weichselian Rixdorf Horizon of the gravel sand pit Niederlehme 2 (Königs Wusterhausen, Brandenburg)	55–59
Kurzmitteilungen			
WERNER STACKEBRANDT	100 Jahre Geologie von Brandenburg		60
MANFRED KUPETZ & NANCY SAUER	Neue Struktur des UNESCO Global Geoparks Muskauer Faltenbogen/Łuk Mużakowa gegründet	New structure of the UNESCO Global Geopark Muskauer Faltenbogen/ Łuk Mużakowa established	61–64
HELGE ALBERT	Die traditionelle 1. Mai-Exkursion des Vereins der Geowissenschaftler BB – Geologie des Fläming		65–66
BIRGIT FUTTERER, LEITERIN GEOLOGISCHER DIENST, LBGR	Anzeige geologischer Untersuchungen und digitale Bohranzeige		67
Aus dem LBGR			
SEBASTIAN FRITZE, PRÄSIDENT	Frau Dr. Birgit Futterer – neue Abteilungsleiterin Geologischer Dienst im LBGR		68

Grußwort des Präsidenten

Der Geologische Dienst (SGD) als Abteilung im Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe ist verantwortlich für die geologische Landesaufnahme sowie für die Sicherung und Bereitstellung geologischer Daten vom Oberboden bis zum tiefen Untergrund. Entsprechend sammeln und erarbeiten die vier Dezerenate Bodengeologie, Känozoikum/Geoarchiv, Hydrogeologie und Rohstoff- und Tiefengeologie Fachinformationen des Untergrundes zur Erfüllung geologischer Aufgaben.

Grundsätzliche Anforderung an den Geologischen Dienst ist die wissenschaftliche Methode der Recherche der Datenbestände (Geoarchiv und Datenbanken bzw. Fachinformationssysteme FIS), des Erfassens neuer Daten (Kartierung), deren Analyse und Bewertung und daraus resultierend das Erstellen geologischer Kartenwerke (auch mittels Modellierung) sowie die Erarbeitung oder Mitwirkung von/an Fachpublikationen. Die Arbeiten zielen auf die Bereitstellung und Schaffung neuen Wissens ab und dienen der Information und Beratung. Damit wird die Voraussetzung für die ökologisch verträgliche, wirtschaftliche und infrastrukturelle Entwicklung im Land Brandenburg geschaffen.



Ein zentrales Element ist dabei auch das Geoportal und seine Produkte als nach außen sichtbares Fachverfahren der Geoinformation zur Bereitstellung der Daten.

Mit den Brandenburgischen Geowissenschaftlichen Beiträgen (BGB) als Fachzeitschrift des LBGR werden seit 1994 Themen um die regionale und angewandte Geologie im Land Brandenburg sowie benachbarter Regionen aufgegriffen und zur Hydro-, Rohstoff-, Boden-, Umweltgeologie und weiteren Geopotenzialen informiert. Betrachtet man allein die Inhaltsverzeichnisübersicht der bisher 35 herausgegebenen Hefte, zeigt sich die Vielfalt der Themen und die Besonderheit der Anlässe vom Gedenken über Jubiläen bis hin zu Sonderthemen und Tagungsbeiträgen auf nationalen und internationalen Fachtagungen, die in Brandenburg und Berlin stattfanden.

Die wissenschaftliche Publikation ist ein zentrales Element des wissenschaftlichen Arbeitens, sie soll den Stand des Wissens widerspiegeln, fachliche Diskussionen und weitere Untersuchungen anregen, stellt aber auch die Urheberschaft des Wissens dar. Zum Publikationsprozess gehört auch eine vorherige Begutachtung durch Fachkollegen in einem „Review-Prozess“. Dieser Prozess erfolgt auch für die Beiträge der BGB. Ein besonderer Dank gilt hier der Schriftenleitung sowie dem Redaktionsbeirat.

Bei den wissenschaftlichen Publikationen gibt es einen weiteren Aspekt, der in den letzten Jahren zum Tragen gekommen ist – der so genannte „Impact-Faktor“ einer Fachzeitschrift. Diese errechnete Zahl zeigt, welchen Einfluss die Fachzeitschrift hat. Er „ist kein Maß für die Qualität der Artikel einer Zeitschrift, sondern gibt Auskunft darüber, wie oft die Artikel einer bestimmten Zeitschrift in anderen wissenschaftlichen Publikationen durchschnittlich pro Jahr zitiert werden.“ Da es in der wissenschaftlichen Arbeit essenziell ist, welchen Wirkradius die eigene Arbeit hat, ist festzustellen, dass wissenschaftliche Ergebnisse eher in vorrangig englischsprachigen Zeitschriften veröffentlicht werden, die auch einem internationalen Fachpublikum zugänglich sind. Für den regionalgeologischen Kontext und die Zielgruppe in Brandenburg dagegen ist eine englischsprachige Zeitschrift eher bedeutungslos.

Kurzum ist festzustellen, dass die BGB damit nichtdestotrotz in Konkurrenz mit anderen Fachzeitschriften stehen, die eigentlich durch die unterschiedliche Zielstellung nicht gegeben sein muss. Dennoch war es in den letzten Jahren zunehmend schwierig geworden, eine den BGB würdige Anzahl an Beiträgen zusammen zu stellen.

Eine weitere wichtige Beobachtung ist die Digitalisierung. Schon jetzt stellt das LBGR die Inhalte der erschienenen Hefte auf der Homepage zum kostenlosen „Download“ bereit. Die Anzahl der verteilten und abgefragten Druckexemplare nehmen dagegen kontinuierlich ab.

Daher reflektieren wir nach dieser Ausgabe auch ein „Quo vadis BGB“? Unbenommen bleibt das Ziel, die regionalgeologischen und angewandten Themen im Land Brandenburg sowie benachbarter Regionen zu verbreiten, allein die Form ist auf den Prüfstand zu stellen. Hierzu gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten, z. B. nicht die gebündelte Veröffentlichung von Beiträgen in einem Heft, sondern die ausschließlich digitale Veröffentlichung eines Beitrags auf der Internetseite des LBGR oder die Übermittlung per Newsletter. Ein Newsletter bietet auch die Möglichkeit, Themen des Bergbaus und der

Energieleitungen mit darzustellen. Wichtige Themen der Regionalgeologie erhalten auch jetzt schon weitere Formate zur Veröffentlichung. Besonders hervorzuheben sind dabei die digital abrufbaren geologischen Karten. Auch die eine oder andere „App“ für die Nutzer der regionalgeologischen Informationen kann hier sicher zielführend sein.

Diese Formate zu prüfen und zu einem Ergebnis zu kommen, dauert seine Zeit. Diese wollen wir uns in 2023 nehmen, da gerade in diesem Zeitraum im LBGR die Evaluierung der Strukturpassung und die Digitalisierung wesentliche Wirkung entfalten. Das LBGR befindet sich auf dem Weg, eine moderne Landesbehörde zu werden, die in ihrer Gesamtheit über alle Abteilungen den Strukturwandel und die Landesentwicklung Brandenburgs fachlich begleitet und durch nachhaltige, rechtssichere Entscheidungen Investitionssicherheit herstellt. Ich bin mir sicher, dass die BGB unser Wirken und Handeln weiterhin begleiten, dokumentieren und neue Erkenntnisse und Erfahrungen transparent und allgemein verfügbar machen werden.

Sebastian Fritze
Präsident des Landesamtes für Bergbau, Geologie
und Rohstoffe Brandenburg

Brandenburg. Geowiss. Beitr.	Cottbus	Bd. 29/2022	S. 7–26	13 Abb., 3 Tab., 32 Zit.
------------------------------	---------	-------------	---------	--------------------------

Entwicklung, Harmonisierung und Validierung geologischer 3D-Modelle im Grenzbereich Brandenburg/Mecklenburg-Vorpommern und Polen im Rahmen des europäischen Forschungsnetzwerkes GeoERA

Development, harmonizing and validation of geological 3D models in the border region of Brandenburg/Mecklenburg-Western Pomerania and Poland in the European Research Framework of GeoERA

CHRISTOPH JAHNKE, KARSTEN OBST, THOMAS HÖDING, EWA SZYNKARUK, ZBIGNIEW MAŁOLEPSZY, TOMASZ ŻUK, EMILIO L. PUEYO, CONXI AYALA

1 Der GeoERA-Projektverbund, eine Forschungsinitiative der Geologischen Dienste Europas

Das Forschungsnetzwerk der Geologischen Dienste Europas „GeoERA – Establishing the European Geological Surveys Research Area to deliver a Geological Service for Europe“ wurde von der Europäischen Kommission im Rahmen des Förderprogrammes Horizont 2020 von 2018 bis 2021 gefördert. 48 nationale und regionale Geologische Dienste aus 32 europäischen Ländern arbeiteten zusammen mit dem übergeordneten Ziel der Initiierung geologischer Servicestrukturen in Europa für eine leistungsfähige, nachhaltige Nutzung und für die Entwicklung eines integrierten Managements des geologischen Untergrundes. Themenbereiche waren insbesondere:

- die Harmonisierung und Standardisierung geologischer Daten, Informationen und Methoden in Europa und Entwicklung von entsprechenden Workflows,
- die Förderung des Daten- und Methodenaustausches und die Entwicklung von gesamteuropäischen Dateninfrastrukturen/Informationssystemen.

Die Arbeiten erfolgten in 15 internationalen Forschungs- und Kooperationsprojekten zu den Themenfeldern Geo-Energie, Grundwasser, Rohstoffe und Informationssysteme.

Ein in mehreren Projekten relevantes Thema waren dabei 3D-Informationen und geologische 3D-Modelle, die z. Z. in verschiedenen Regionen Europas mit unterschiedlichen Zielstellungen bereits vorliegen oder entwickelt werden (z. B. zur Bewirtschaftung von Grundwasserressourcen und geothermischen Ressourcen, für Untergrundspeicherung oder zur Analyse und Beurteilung konventioneller und unkonventioneller Kohlenwasserstoffsysteme). 3D-Modelle sind eine Möglichkeit, in Erweiterung zu den klassischen geologischen 2D-Darstellungen (Karten, Profilschnitte, 2D-GIS-Systeme) eine Vielzahl geologischer Informationen (von geologischen/geophysikalischen Primärdaten bis zu komplexen Strukturinterpretationen) in 3D (oder 4D in dynamischen Modellen mit zusätzlich zeitlicher Dimension) zu visualisieren, zu ana-

lysierten und zu interpretieren. Neben den Zielstellungen der Modelle sind auch die Modellierungskonzepte in den europäischen Ländern dabei sehr unterschiedlich, was auf andere Datengrundlagen und Interpretationsansätze sowie verschiedene Softwarelösungen zurückzuführen ist. An internationalen Grenzen traten und treten aus diesen Gründen häufig Diskrepanzen und Unstetigkeiten zwischen den vorhandenen Modellen bzw. modellierten Strukturen auf.

Im Projekt 3DGEO-EU „3D Geomodeling for Europe“ innerhalb des GeoERA-Verbundes erfolgte beispielhaft eine Erarbeitung, Harmonisierung und Dokumentation von grenzüberschreitenden 3D-Untergrundmodellen in vier Modellregionen:

1. onshore Grenzregion Niederlande – Deutschland (Niedersachsen),
2. onshore Grenzregion Polen – Deutschland (Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern),
3. offshore Grenzregion Niederlande – Deutschland – Dänemark in der Nordsee (Bereich „Entenschnabel“),
4. Grenzregion Spanien – Frankreich in den westlichen Pyrenäen.

Die ersten drei Regionen befinden sich im Mitteleuropäischen Beckensystem und weisen spezifische geologische Situationen und unterschiedliche Erkundungsgrade auf. Stratigraphisch reichen die Modelle vom Perm bis ins Mesozoikum. Die vierte Modellregion befindet sich im alpidischen Faltengebirgsgürtel in einem anderen geologischen Umfeld.

In weiteren, methodisch ausgerichteten Arbeitspaketen des Projektes wurden spezielle Aspekte der geologischen 3D-Modellierung bearbeitet und dokumentiert:

- Unsicherheiten in geologischen Modellen, deren Ursachen, Charakterisierung und Visualisierung,
- Modellierung und Charakterisierung von Störungen,
- Methoden einer optimierten geophysikalischen Untergrundrekonstruktion durch Anwendung verschiedener geophysikalischer Verfahren.

Kooperationspartner waren die Geologischen Dienste und geowissenschaftliche Institutionen der beteiligten Länder bzw. Bundesländer sowie eine Reihe von assoziierten Organisationen.

Die Arbeiten in der deutsch-polnischen Grenzregion erfolgten in Kooperation der folgenden Partner: Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR), Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG), Polish Geological Institute – National Research Institute (PGI-NRI) sowie Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

Die Ergebnisse des Projektes 3DGEO-EU sind auf den GeoERA-Webseiten abrufbar (<https://geoera.eu/projects/3dgeo-eu>, Rubrik „Deliverables“). Auch die Ergebnisse der anderen GeoERA-Projekte und die Projektdokumente des Verbundes können unter <https://geoera.eu> eingesehen und abgerufen werden.

2 Deutsch-polnische Kooperationen auf geologischem und geophysikalischem Gebiet

2.1 Kooperation bis 1990

Kooperationen zur Erkundung des tieferen geologischen Untergrundes zwischen Polen und Deutschland bzw. Kooperationen zur Interpretation der gewonnenen Daten erfolgten ab den 1970er Jahren vor allem in Zusammenhang mit der Rohstoffexploration beider Länder im grenznahen Gebiet. Insbesondere in der geophysikalischen Erkundung wurde bis 1990 z. T. sehr intensiv kooperiert:

Seismik

Basierend auf den Arbeiten der staatlichen Institutionen VEB Geophysik Leipzig in der DDR und dem Biuro Geologiczne Geonafta Warszawa auf polnischer Seite wurden harmonisierte grenzüberschreitende Karten der Tiefenlage ausgewählter seismischer Reflektoren (Zechstein und Untere Trias, Maßstab 1:100.000) in einem etwa 70 km breiten Grenzkorridor von Usedom im Norden bis ins südliche Brandenburg (Region Forst) erarbeitet (Geophysik Leipzig & Biuro Geologiczne Geonafta Warszawa 1978, 1980). Auf ostdeutscher Seite schlossen sich die Arbeiten eng an das Regionale Kartenwerk Reflexionsseismik (VEB Geophysik, Gruppe Regionales Kartenwerk Reflexionsseismik 1965–1991; Überblick in REINHARDT 1993 und RAPPSILBER et al. 2019) an. Grenzüberschreitende seismische Messungen wurden nicht durchgeführt; seismische Profile endeten grundsätzlich einige 100 m bis wenige Kilometer vor der Grenze. Die umfangreiche seismische Erkundung nach 1980 (Explorationsziele waren vor allem Rotliegendes und Basaler Zechstein), die zu einem deutlichen Erkenntniszuwachs auch im Mesozoikum führten, wurden im Festlandsbereich nicht mehr gemeinsam abgestimmt bzw. wenn doch, ist das nicht mehr dokumentiert. Dagegen wurden 1976 bis 1988 offshore im Rahmen der Kooperation „Petrobaltic“

zwischen der ehemaligen DDR, UdSSR und Polen umfangreiche gemeinsame seismische und gravimetrische Untersuchungen im Ostseegebiet durchgeführt, die jedoch nicht Gegenstand der Arbeiten im 3DGEO-EU-Projekt waren. Eine letzte Zusammenfassung von Tiefen- und Mächtigkeitsinformationen im onshore Grenzgebiet erfolgte (ohne nähere Quellenangaben) in CONRAD et al. (1991) (Tiefenlinien Basis Oberkreide und Top Zechstein, diverse Mächtigkeitskarten, Maßstab 1:200.000), die sich auf ostdeutscher Seite wiederum an das Geophysikalische Kartenwerk Reflexionsseismik anschlossen, auf polnischer Seite jedoch z. T. sehr unvollständig waren. Nach 1991 wurde auf deutscher Seite die Explorationstätigkeit stark reduziert, auf polnischer Seite wurden die Erkundungen jedoch weitergeführt und regional noch intensiviert (z. B. Raum Gorzów, Myślibórz mit einer Reihe von 3D-Surveys, s. Abschnitt 4.1, Abb. 2).

Gravimetrie und Magnetik

Die Zusammenarbeit im Bereich der gravimetrischen und magnetischen Vermessung begann ebenfalls in den 1970er Jahren durch die Institutionen VEB Geophysik Leipzig und Biuro Geologiczne Geonafta Warszawa. Hier erfolgten auch gemeinsame Messkampagnen zur Untersuchung der Felddifferenzen und die Einrichtung von Messpunkten an Grenzübergängen. Auch wurden die Arbeiten in den 1980er Jahren fortgesetzt und aktualisierte Daten beider Seiten kontinuierlich eingearbeitet. Ergebnisse waren harmonisierte grenzüberschreitende Karten der Bouguer-Anomalie in einem etwa 70 km breiten Grenzkorridor analog zur Seismik in den Maßstäben 1:100.000 und 1:200.000 (JAMROZIK et al. 1978, 1984, 1987, CONRAD et al. 1991). Die geomagnetischen Aufnahmen im Grenzgebiet waren bis 1991 noch unvollständig. Beide Seiten nutzten unterschiedliche geomagnetische Bezugssysteme, Normalfelder und Epochen, was einen erhöhten Abstimmungsaufwand erforderte. Die 1991 abgeschlossene Ergebniskarte der Magnetfeldanomalien im Grenzkorridor reichten deshalb nur von Usedom im Norden bis etwa Frankfurt/Oder im Süden (CONRAD et al. 1991, Maßstab 1:200.000). Die systematischen gravimetrischen und geomagnetischen Erkundungsarbeiten wurden in Ostdeutschland nach 1990/91 nicht fortgesetzt. Auf polnischer Seite wurden die Arbeiten analog zur Seismik weitergeführt.

2.2 Kooperation nach 1990

Nach 1990 arbeiteten die geologischen Institutionen Polens und Deutschlands in einigen internationalen Projekten zusammen z. B. MELA („Morphotectonic Map of the European Lowland Area“ 2004–2008) und insbesondere SPBA „Southern Permian Basin Atlas“ (Doornenbal & Stevenson 2010, <https://www.nlog.nl/southern-permian-basin-atlas>). Im SPBA-Projekt erfolgte für das Mitteleuropäische Permbecken eine paneuropäische Aggregation und Korrelation der stratigraphischen Informationen und die Ableitung großskaliger harmonisierter Kartenwerke der Tiefenlage und Mächtigkeit der stratigraphischen Systeme und der regionalen Störungssysteme auf Beckenskala (Maßstab \approx 1:3.000.000).

Eine Vertiefung der Ergebnisse des SPBA erfolgte im deutsch-polnischen Projekt GeoPolD (Partner: BGR (Bundesanstalt für Geologie und Rohstoffe), LBGR (Landesamt für Bergbau Geologie und Rohstoffe Brandenburg), LUNG (Landesamt für Umwelt Natur und Geologie Mecklenburg-Vorpommern), PGI-NRI (Polish Geological Institute – National Research Institute), Universitäten und Industriepartner; 2010–2017). In Phase I erfolgte eine stratigraphische Korrelation wichtiger Speicher- und Barrierekomplexe vom Rotliegenden bis zur Oberkreide in der Grenzregion und die Erstellung von stratigraphischen Korrelationsprofilen anhand von ausgewählten Bohrungen (KUHLMANN et al. 2012, KUHLMANN 2014). In Phase II wurden für den Unteren Jura detaillierte Faziesanalysen und sequenzstratigraphische Gliederungen durchgeführt sowie grenzüberschreitende Fazieskarten für ausgewählte Regressionssequenzen erstellt (ZIMMERMANN 2016).

Verstärkte bilaterale Kooperationen zwischen dem LBGR und PGI-NRI erfolgten ab etwa 2002 und führten u. a. zur Veröffentlichung einer Reihe von gemeinsamen geologischen Karten im deutsch-polnischen Grenzbereich mit dem Schwerpunkt oberflächennahe Geologie, jedoch auch unter Einschluss umfangreicher Darstellungen der tiefeologischen Verhältnisse beiderseits der Grenze (z. B. LBGR 2007, LBGR 2019).

3 Entwicklung geologischer 3D-Modelle in Deutschland und Polen

In den Geologischen Diensten Deutschlands und Polens begannen im letzten Jahrzehnt Arbeiten zum Aufbau von geologischen 3D-Modellen in unterschiedlichen Skalen (Abb. 1).

In Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern wurden bei den Geologischen Diensten landesweite Modelle entwickelt:

- „Brandenburg 3D“ (LBGR 2013): Modell der wichtigsten mesozoischen und permischen seismischen Reflektoren und Störungssysteme auf der Landesfläche von Brandenburg vom Oberen Perm bis Basis Känozoikum (https://geo.brandenburg.de/Brandenburg_3D/client/portal/index.html, s. Schilling et al. 2015).
- „TUNB Tiefer Untergrund des Norddeutschen Beckens“ (2014–2020): Modell des Norddeutschen Beckens. Stratigraphische Grenzflächen im Ober-Perm, Mesozoikum und Känozoikum auf dem Gebiet der norddeutschen Bundesländer und der Nordsee. Kooperation der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe mit den Geologischen Diensten der Bundesländer Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen-Anhalt. Teilprojekt 3 Mecklenburg-Vorpommern: OBST et al. 2021, Teilprojekt 4 Brandenburg: JAHNKE et al. 2021, die Modelle sind einsehbar unter <https://gst.bgr.de>

Alle Modelle wurden in der Software SKUA-GOCAD (ASPENtech) als Tiefenmodelle auf der Basis von Bohrungen und tiefenmigrierter Seismik entwickelt. In Ostdeutschland beruhen sie überwiegend auf dem Kenntnisstand bis etwa 1990. Neuinterpretationen von Seismik erfolgten i. d. R. nicht, nur vereinzelt konnten Aktualisierungen vorgenommen werden.

In Polen erfolgte die Modellierung auf der Basis geotektonischer Großstrukturen, die schrittweise in einem landesweiten Modell zusammengeführt wurden (JAROSIŃSKI et al. 2014). Im deutsch-polnischen Grenzgebiet betrifft dies:

- Modelle Gorzów Block und Szczecin Through: stratigraphische Grenzflächen und Störungssysteme im Perm, Mesozoikum und Känozoikum

Die Modelle wurden auf polnischer Seite in den Programmsystemen Petrel (Schlumberger) und SKUA-GOCAD (ASPENtech) entwickelt. Die Modellentwicklung erfolgte unter Berücksichtigung des aktuellen Explorationsstandes und schließt eine Harmonisierung und teilweise Neuinterpretation von Seismik ein.

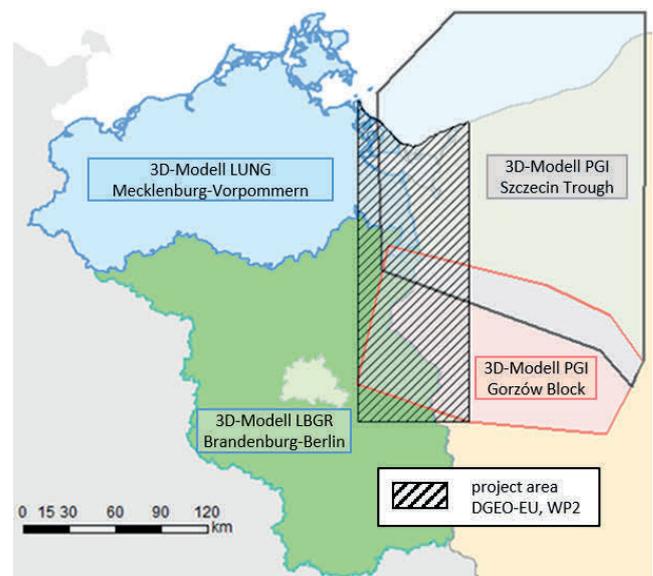


Abb. 1: Geologische 3D-Modelle im deutsch-polnischen Grenzgebiet: Deutsche Landesmodelle Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern. Modelle der tektonischen Großstrukturen Gorzów Block und Szczecin Trough in Polen. Schraffierte Fläche: Modellgebiet 3DGEU-EU, Workpackage 2

Fig. 1: Geological 3D models in the Polish-German border area. German models of Brandenburg and Mecklenburg-Western Pomerania. Models of the tectonic structures Gorzów Block and Szczecin Trough in Poland. Model area of 3DGEU-EU Work Package 2

Das Ziel der Kooperation im GeoERA-Verbund bestand darin, diese Modelle, die zur Projektlaufzeit teilweise noch in der Entwicklung waren, in einem Gebiet von ca. 70 x 210 km zu harmonisieren und zusammenzuführen (Abb. 1).

4 Datengrundlagen und Datenharmonisierung

4.1 Stratigraphische und seismostratigraphische Korrelation

Datengrundlage geologischer 3D-Modelle sind i. d. R. primär Bohrungsbefunde und Seismik und daraus interpretierte und interpolierte Daten wie geologische Karten und Profilschnitte. Die Datenbasis im Grenzgebiet Brandenburg /Mecklenburg-Vorpommern und Polen ist in Abb. 2 zusammengefasst. Die Seismik ist nach den Messjahren differenziert:

- bis 1970 Analog-Seismik (heute nur noch eingeschränkt nutzbar, bei allen Institutionen bisher nicht vollständig erfasst und in Abb. 2 nur auszugsweise dargestellt)
- ab 1970/71 bis 1990 Digitalseismik
- nach 1990 moderne Digitalseismik und 3D-Seismik.

Ersichtlich ist eine deutliche Zunahme der Messdichte und ein entsprechender Informationsgewinn in der Grenzregion nach 1980. Die bis 1980 erarbeiteten Karten sind deshalb nicht mehr auf aktuellem Stand (vgl. Abschnitt 2.1). Sichtbar wird aber auch die nach wie vor sehr geringe Informationsdichte in einigen Regionen ohne Explorationsinteressen (Region Szczecin im Norden und Region Chojna in der Mitte des Modellgebietes).

Ein direkter Austausch von Primärdaten zwischen LBGR/LUNG und PGI-NRI war im Rahmen des GeoERA-Forschungsverbundes aufgrund rechtlicher Einschränkungen leider nur in geringem Umfang möglich. Für die Datenharmonisierung mussten deshalb überwiegend anonymisierte Daten (Daten ohne Metadaten, ohne Lageangaben) und interpretierte Daten (Modelle, Kartenwerke usw.) verwendet werden.

Eine Zusammenstellung und Korrelation der lithostratigraphischen Gliederungen der Regionen auf Beckenskala erfolgte im Rahmen des Projektes SPBA „Southern Permian Basin Atlas“ (DOORNENBAL & STEVENSON 2010) und vertieft für das deutsch-polnische Grenzgebiet im GeoPolD-Projekt (KUHLMANN 2014, ZIMMERMANN 2016). Im Zechstein und in der Trias sind die lithostratigraphischen

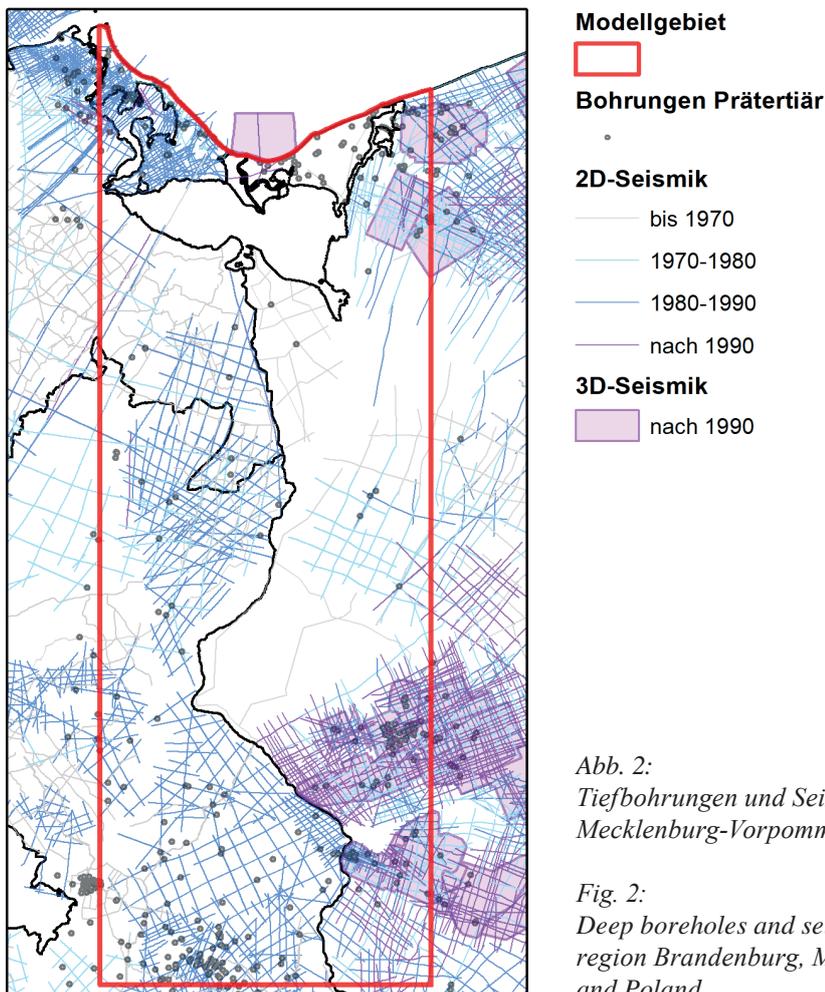


Abb. 2:
Tiefbohrungen und Seismik im Grenzgebiet Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Polen

Fig. 2:
Deep boreholes and seismic investigations in the border region Brandenburg, Mecklenburg-Western Pomerania and Poland

Einheiten und entsprechenden Gliederungen im Norddeutschen Becken und im Polnischen Trog identisch mit lediglich einigen abweichenden regionalen Formationsbezeichnungen (siehe DOORNENBAL & STEVENSON 2010: Chapter 8 und 9; KUHLMANN 2014: Abb. 10, 11). Ab dem Oberen Keuper, im Differenzierungsstadium des Mitteleuropäischen Beckensystems, entstanden stärker lokal geprägte Ablagerungsräume, die durch unterschiedliche Senkungstendenzen, unterschiedliche Sedimentationsraten und fazielle Entwicklungen gekennzeichnet sind. Die lithostratigraphischen Einheiten sind deshalb räumlich und zeitlich kleinteiliger und differenzierter (s. DOORNENBAL & STEVENSON 2010, Chapter 10 und 11; KUHLMANN 2014: Abb. 12, 13), die stratigraphischen Horizontkorrelationen sind jedoch im deutsch-polnischen Grenzgebiet i. d. R. relativ problemlos korrelierbar.

Die bis 1980 erstellten harmonisierten Isolinienkarten des deutsch-polnischen Grenzgebietes basierten auf einer relativ geringen Messdichte (s. Abb. 2) und der Mess- und Prozessierungstechnik der 1960er und 1970er Jahre und umfassten nur wenige Reflektoren von der Basis des Werra-Anhydrits bis zum Oberen Buntsandstein (Reflektor Top Salinarrot). Insbesondere die Intra-Zechstein-Reflektoren waren mit der Seismik der 1960er und 1970er Jahre nur z. T. fassbar und in Tiefenlage und Struktur mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Die spätere Seismik wurde nicht mehr abgeglichen und eingearbeitet.

Es erfolgte deshalb im Rahmen des GeoERA-Projektes in einem ersten Schritt eine gemeinsame seismostratigraphische Korrelation von Profilen zur Prüfung der grundsätzlichen Interpretation auf beiden Seiten (Abb. 3 und Tab. 1).

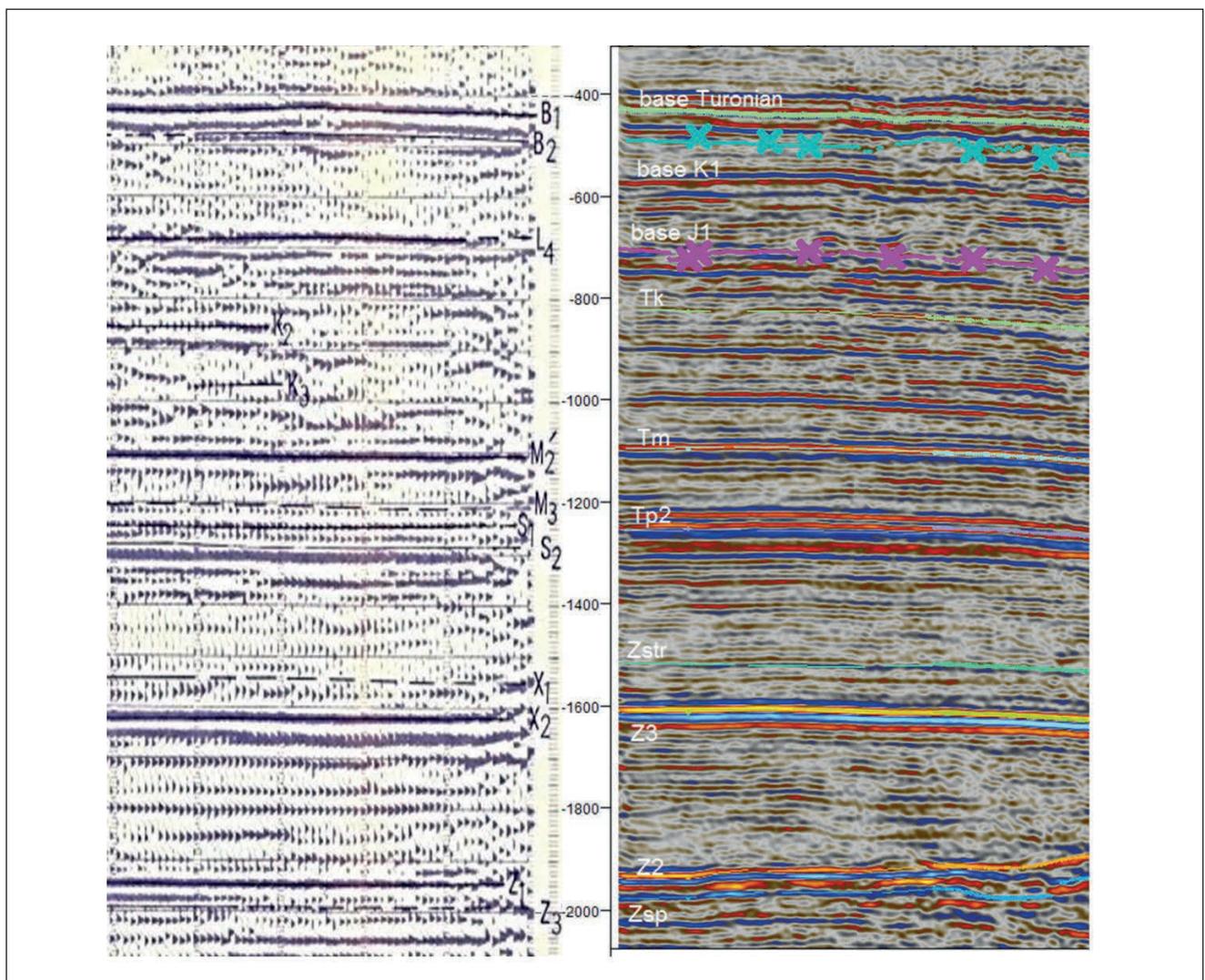


Abb. 3: Korrelation von seismischen Zeitschnitten (vertikale Zeitachse in Millisekunden) im deutsch-polnischen Grenzgebiet mit der jeweiligen Reflektorinterpretation. Links: Prozessiertes Profil der DDR-Seismik aus den 1980er Jahren. Rechts: prozessiertes Profil auf polnischer Seite aus den 2000er Jahren
 Fig. 3: Correlation of seismic time sections (vertical axes in milliseconds) close to the German and Polish border with reflector picking. Left: Processed seismic line of Eastern Germany from the 1980s. Right: processed seismic line from the Polish side after 2000

Kurzbezeichnung der Reflektoren		Stratigraphische Position
Östliches Brandenburg / Mecklenburg-Vorpommern	Westliches Polen (Gorzów Block)	
T1		Transgressionsfläche Känozoikum
B1	base of Turonian	Grenzbereich Turon-Cenoman
B2/T2		Basis Cenoman/Transgressionsfläche Mittelalb bis Cenoman
T3	base of K1	Transgressionsfläche Unterkreide (Hauterive bis Unteralb), Basis Kreide
	base of J3	Basis Jura
L4	base of J1	Basis Lias
K1		Basis Rhätkeuper
K2	Tk	Top Oberer Gipskeuper
K3		Basis Schilfsandstein / Top Unterer Gipskeuper
M1		Top Kalkstein Oberer Muschelkalk
M2'	Tm	Top Mittlerer Muschelkalk (top high velocity layer)
M3		Basis Muschelkalk
S1	Tp2	Top Salinarröt
S2		Basis Salinarröt
X1	Zstr	Top Zechsteinsalinar
X2	Z3	Top Hauptanhydrit (Leine-Formation)
Z1	Z2	Top Basalanhydrit (Staßfurt-Formation)
Z2	Na1	Top Werra-Steinsalz
Z3'	Z1	Basis Werra-Steinsalz / Top Unterer Werra-Anhydrit
Z3	Zsp	Basis Werra-Anhydrit
R6 / R7	P1	Basis sedimentäres Rotliegend (Oberrotliegend I, Oberrotliegend II)

Tab. 1: Wichtige seismische Reflektoren in der deutsch-polnischen Grenzregion. Stratigraphische Zuordnung und Reflektorbezeichnung auf deutscher Seite folgt der Zusammenstellung von Göthel (2016).

Tab. 1: Major seismic reflectors in the Polish-German border region, stratigraphic position based on Göthel (2016).

Es lagen zwar keine grenzüberschreitenden Messungen vor, aber es gibt z. T. Profile gleicher Ausrichtung, die sich in ihrem Verlauf über die Grenze hinweg fortsetzen lassen und Lücken von nur wenigen Kilometern aufweisen (im südlichen Bereich des Modellgebietes). Abb. 3 zeigt beispielhaft Zeitsektionen von zwei SSW-NNE streichenden Profilen im östlichen Brandenburg und im Gorzów Block auf polnischer Seite mit einer Lücke im Grenzbereich von etwa 2 km. Die Profile zeigen flachlagernde, ungestörte Strukturen von der Basis Zechstein bis zur Basis Oberkreide, die sich über die Grenze korrelieren lassen. Die Profile weisen einen unterschiedlichen Bearbeitungsstand (Brandenburg 1980er Jahre, Polen nach 2000) und eine unterschiedliche Auflösung auf, sind aber hinsichtlich der Interpretation der wesentlichen Reflektoren weitgehend identisch. Abweichungen ergeben sich z. T. in der konkreten Phasenzuordnung einzelner Reflektoren (z. B.

Reflektoren K2 – Tk oder X1 – Zstr, s. Tab. 1). Eine ähnliche grundsätzliche Übereinstimmung ließ sich in allen untersuchten grenznahen Profilen feststellen. Eine Zusammenstellung und Korrelation der wichtigsten, im östlichen Deutschland und westlichen Polen identifizierten seismischen Reflektoren gibt Tab. 1.

Auch eine Prüfung der seismischen Geschwindigkeiten aus Bohrlochmessungen und Geschwindigkeitsmodellen im Grenzgebiet erbrachte ebenfalls eine grundsätzliche Übereinstimmung.

Im Ergebnis lässt sich feststellen, dass die seismischen Daten zumindest ab Einführung der Digitalseismik trotz des unterschiedlichen Alters und der unterschiedlichen Prozessierungsqualität in ihren Ergebnissen vergleichbar sind und keine grenzüberschreitende Neuinterpretation

und -prozessierung erforderlich ist. Die aus Bohrungsdaten und Seismik auf beiden Seiten der Grenze (bei hinreichender Messdichte) abgeleiteten Strukturen im Oberperm und Mesozoikum sind vergleichbar und lassen sich aneinander anschließen. Bereits in CONRAD et al. (1991, S. 21) wurde konstatiert: „Infolge der langjährigen Erdöl-Erdgas-Explorationstätigkeit im Zechstein und Rotliegenden, die in hinreichender Dichte im gesamten Untersuchungsgebiet erfolgte, ist ein relativ hoher und zumal gesicherter Kenntnisstand über das oberpermisch-mesozoische Deckgebirge vorhanden.“ Es ist jedoch einschränkend festzustellen, dass bis heute größere Datenlücken im Grenzgebiet existieren (s. Abb. 2), in denen kaum Tiefbohrungen und nur lückenhafte und wenig dokumentierte Altseismik vorliegen.

4.2 Gravimetrie

Für die weitere Modellentwicklung, insbesondere zum Schließen von Datenlücken in der Seismik und bei der Bohrungsverteilung aber auch für die Modellvalidierung wurden gravimetrische Daten herangezogen. Diese liegen in der gesamten Region in hoher Dichte vor und wurden bereits in den 1980er Jahren harmonisiert (JAMROZIK et al. 1978, 1984, 1987, CONRAD et al. 1991). Für den überwiegenden Teil des Untersuchungsgebietes sind Daten in

einer mittleren Messdichte von 250–500 m Punktabstand verfügbar (Abb. 4 „semi-detailed surveys“). Auf deutscher Seite lagen diese Daten beim LBGR und LUNG nur analog in Form der originalen Messprotokolle vor und konnten im Rahmen des Projektes teilweise digitalisiert werden (ca. 25.000 Messpunkte). In den übrigen Bereichen wurden die bereits digital vorliegenden regionalen Daten verwendet (Messpunktabstand 1200–1500 m – Abb. 4: „regional surveys“). Auf polnischer Seite liegen alle Daten digital in einer zentralen Datenbank beim PGI-NRI vor. Offshore-Daten (Ostsee, Oderhaff) wurden nicht einbezogen.

Die gravimetrischen Daten wurden nach aktuellem Stand neu prozessiert. Einheitlich wurden Schweresystem ISGN71, Ellipsoid GRS80/WGS84, Höhenbezug NN (Amsterdam), Reduktionsniveau 0 mNN und eine Normalschwere nach MORITZ (2000) verwendet. Freiluftkorrektur, Bouguer-Reduktion und Terrain-Korrektur wurden aufgrund der Datenlage auf beiden Seiten methodisch unterschiedlich durchgeführt (siehe AYALA et al. 2021). Auf deutscher Seite erfolgte die Terrain-Korrektur unter Nutzung der regionalen Daten von SKIBA et al. 2010. Als Reduktionsdichte für die Bouguer-Reduktion und Terrain-Korrektur wurde einheitlich 2 g/cm^3 verwendet. Eine Überprüfung der resultierenden Abweichungen der Bouguer-Anomalie an konkreten Messpunkten erbrachte

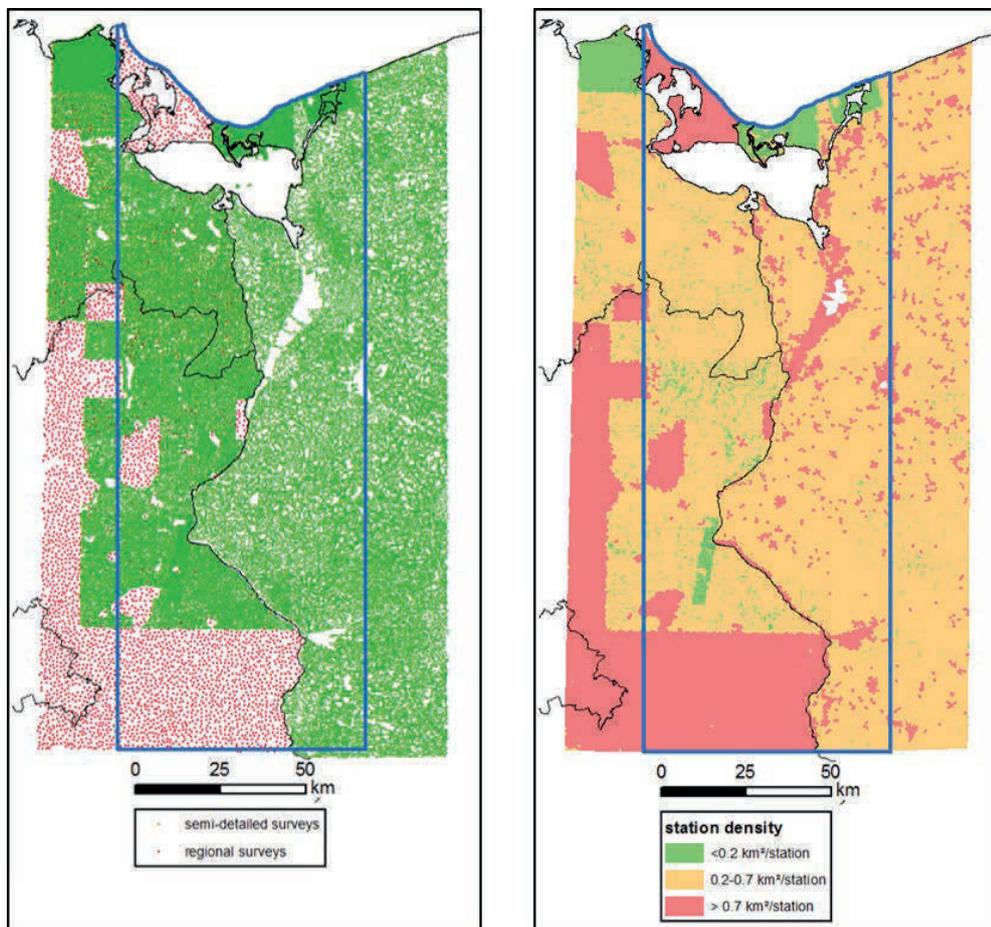


Abb. 4: Verteilung (links) und Dichte (rechts) der genutzten gravimetrischen Messpunkte

Fig. 4: Distribution (left) and density (right) of the used gravimetrical stations

Werte von $< 0,1$ mGal, was in Anbetracht der beobachtbaren Wertebereiche vernachlässigbar ist. Die harmonisierte Karte der Bouguer-Anomalie (s. Abb. 5) wurde nach Ost und West über das Grenzgebiet und Modellgebiet ausgedehnt, um einen Anschluss an die großräumigen Strukturen zu gewährleisten.

In der Bouguer-Anomalie spiegeln sich eine Vielzahl von Strukturen wider, von oberflächennahen pleistozänen Rinnsensystemen über mesozoische Beckenfüllungen, permische Salzstrukturen und deren Randsenken bis zu tiefen großräumigen Krustentrukturen. Eine nähere Charakterisierung der Bouguer-Anomalien in Relation zum geologischen Modell und dessen Strukturen erfolgte in der Modellvalidierung (s. Abschnitt 5.3).

5 Modellharmonisierung und -validierung

5.1 Geologisches Modell

Das geologische Modell auf Basis der Bohrungen und der interpretierten Seismik wurde in drei Einzelmodellen der Partner LBGR, LUNG und PGI entwickelt. Die Harmonisierung erfolgte über einen gegenseitigen Austausch der Teilmodelle. Dieses Verfahren war aufgrund der rechtlichen Einschränkungen beim Austausch der Primärdaten erforderlich, aber aufgrund der guten Korrelierbarkeit der Primärdaten (Bohrungen und Seismik) möglich. In Bereichen mit guter Datenbelegung schlossen sich die Einzelmodelle problemlos aneinander an. In den Bereichen mit geringer Datenbelegung (siehe Datenlücken in Abb. 2) ergaben sich bei den Einzelmodellen auf deutscher und polnischer Seite größere Abweichungen. Hier wurde ein pragmatischer Lösungsweg gewählt, bei dem die Modelle mit jeweils besserer Datenbelegung in den Modellierungsprozess der anderen Seite einbezogen und so in den Da-

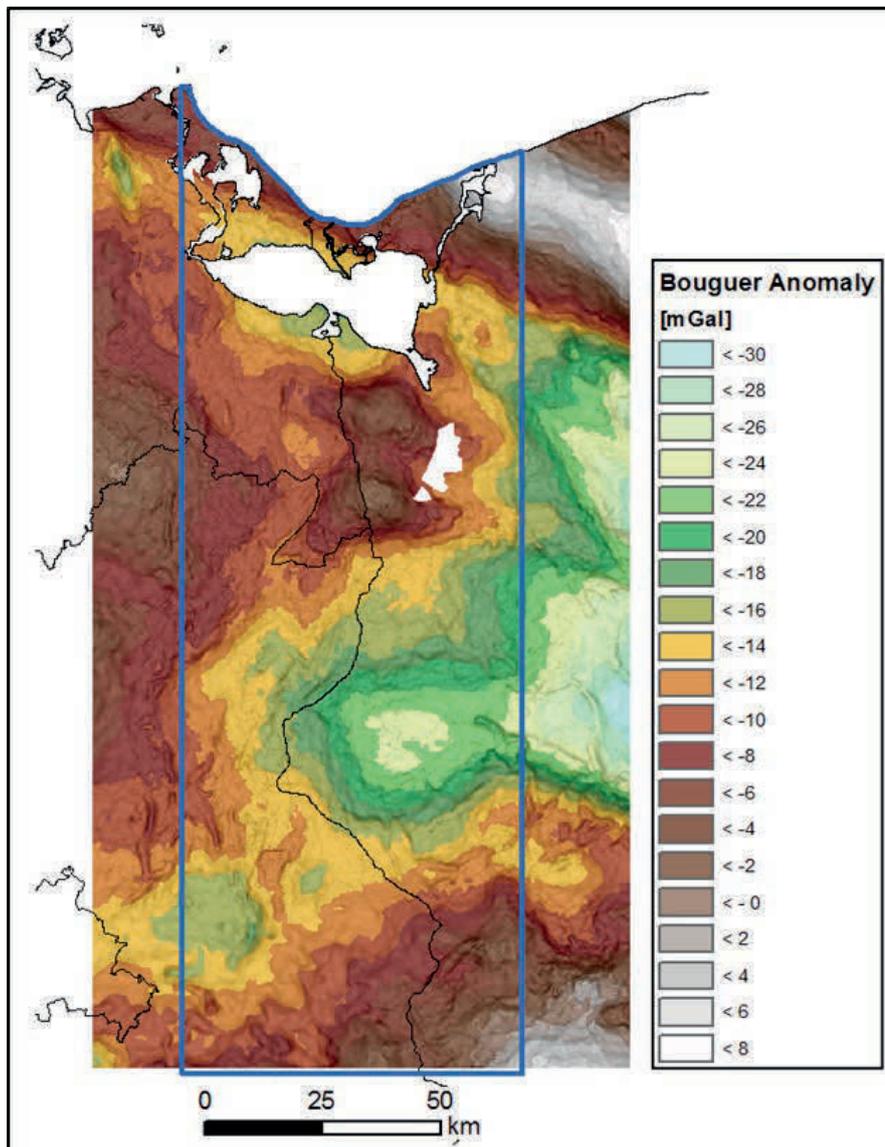


Abb. 5:
Harmonisierte Karte der
Bouguer-Anomalie.
Blauer Rahmen: Modell-Gebiet

Fig. 5:
Final harmonized cross-border map
of Bouguer anomaly.
Blue frame: area of the 3D-model

tenlücken extrapoliert wurde (Abb. 6). Eine Verifizierung dieser Extrapolationen erfolgte in einem weiteren Schritt unter Einbeziehung gravimetrischer Daten.

Das harmonisierte geologische 3D-Modell umfasst die folgenden Horizonte:

- Basis Quartär
- Basis Tertiär
- Basis Oberkreide
- Basis Jura
- Basis Keuper
- Basis Muschelkalk
- Basis Buntsandstein
- Top Basaler Zechstein
(Top Basalanhydrit der Staßfurtserie)
- Basis Zechstein

Die Einzelmodelle weisen auf deutscher und polnischer Seite weitere Differenzierungen auf (auf deutscher Seite ist das Mesozoikum stärker differenziert, auf polnischer Seite der Zechstein). Es wurden jedoch nur diese Horizonte harmonisiert.

Die Modellierung erfolgte beim LBGR und LUNG mit SKUA-GOCAD und beim PGI-NRI mit Petrel und SKUA-GOCAD. Das finale Modell wurde in SKUA-GOCAD erstellt. Die mittlere räumliche Auflösung beträgt etwa

500 m. Einen Eindruck von den Horizontflächen des harmonisierten Gesamtmodells geben Abb. 7 und Abb. 8. Die Darstellungen erfolgten in 10facher Überhöhung. Zur besseren Übersicht sind Störungen in Abb. 7 und Abb. 8 nicht dargestellt, sondern werden separat in Abb. 9 gezeigt.

Die Basis des Modells bildet die Basis des Zechsteins (Abb. 7, oben links). Die farbliche Codierung zeigt die Tiefenlage in einem Bereich von > 4.500 m unter NHN im Nordosten (dem Nordrand des Polnischen Troges) bis ca. 2.500 m unter NHN an den nördlichen und südlichen Beckenrändern. Die Begrenzung des Beckens im Modellgebiet ist am Nordrand sehr steil und im Süden deutlich flacher. Der Top des Basalen Zechstein (Abb. 7, oben rechts: Top Basalanhydrit der Staßfurt-Serie) folgt im Norden dem Beckenrand mit einem steilen Übergang vom Plattformhang zur Plattform. Im Süden zeigen sich die auffälligen Mächtigkeitsanomalien der anhydritisch-karbonatischen Off-Plattform-Heights im relativ flach ansteigenden unteren Plattformhang. Der obere Plattformhang und die eigentliche Plattform liegen bereits südlich des Modellgebietes.

Abb. 7 (unten links) zeigt die Oberfläche des Zechsteinsalzes bzw. die Basis des Buntsandsteins. Die farblich codierte Salzmächtigkeit von < 100 m bis > 2.000 m verdeutlicht die Salzdynamik. Prägnante Strukturen sind insbesondere der Goleniów-Diapir im Nordosten auf polnischer Seite und das im Südwesten auf Brandenburger Seite angeschnit-

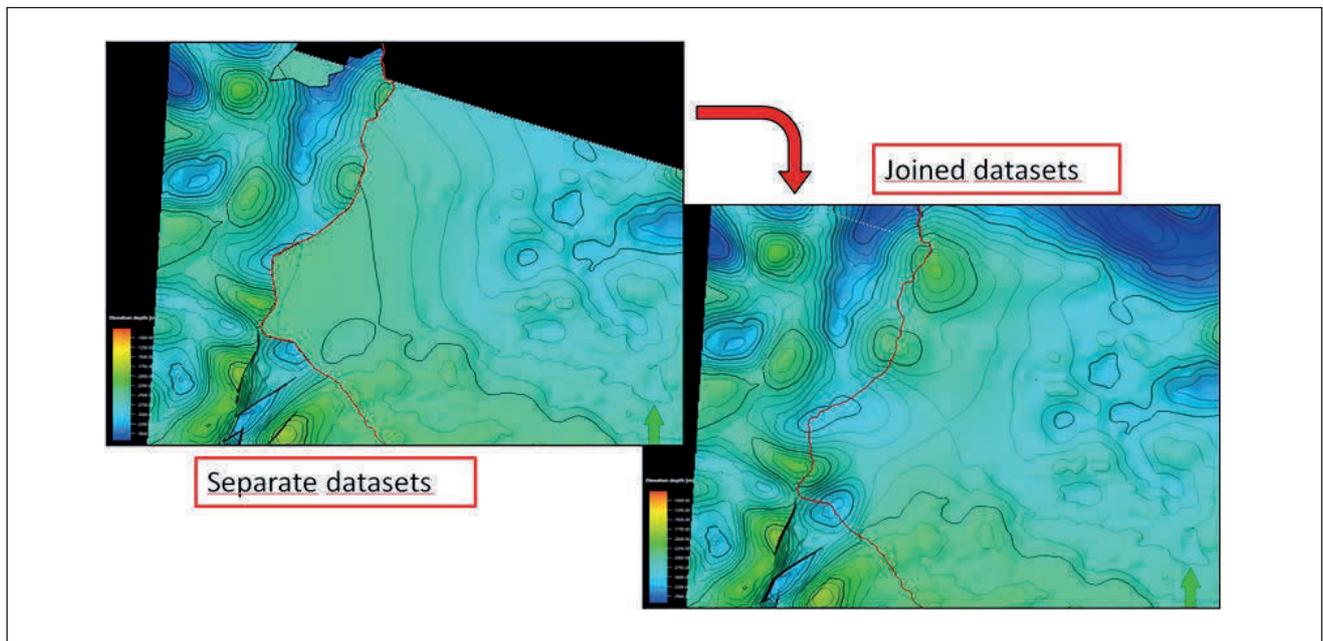
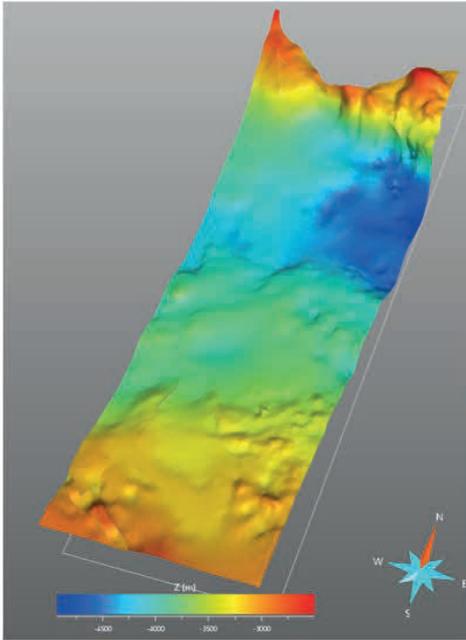


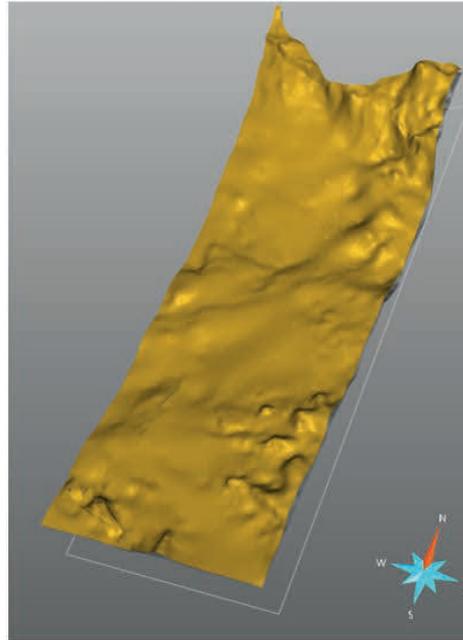
Abb. 6: Zusammenführung der Modelle Brandenburgs und des Gorzów Blocks im Bereich von Datenlücken am Beispiel der Oberfläche Zechsteinsalz. Links: Einzelmodelle mit großen Abweichungen an der Grenze aufgrund geringer Datendichte auf polnischer Seite. Rechts: Zusammgeführte und harmonisierte Modelle nach Neuinterpretation auf polnischer Seite unter Verwendung des Brandenburger Modells

Fig. 6: Joining of the Brandenburg model and of the model Gorzów block in areas with low data density (by example top of Zechstein salt). Left: separate datasets with large deviations at the border because of reduced data on the Polish side. Right: joined and harmonized models with re-interpretation at the Polish side by using the dataset of Brandenburg

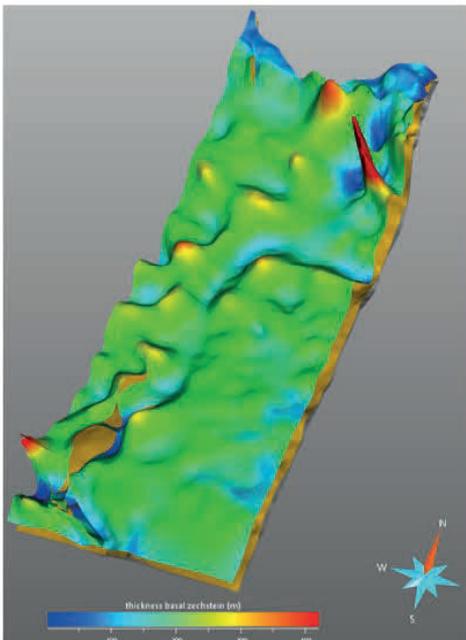
Basis Zechstein (mit Tiefenlage)



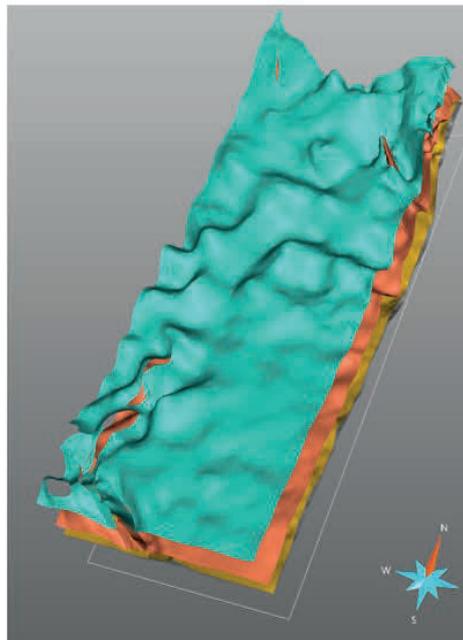
Top Basaler Zechstein



Oberfläche Zechsteinsalz (mit Mächtigkeit)



Basis Lias



*Abb. 7:
Horizontflächen
Zechsteinbasis bis Basis
Lias des geologischen
3D-Modells im deutsch-
polnischen Grenzgebiet.
(Überhöhung 10fach)*

*Fig. 7:
Horizons base of Zechstein
to base of Lias of the
harmonized 3D-model of
the Polish-German border
region
(vertical exaggeration
1:10)*

tene Salzkissen Rüdersdorf. Im übrigen Modellgebiet sind eine Reihe weiterer Salzkissen und entsprechende Mulden mit Salzabwanderung ausgebildet. Auffällig ist die im Gegensatz dazu sehr ruhige Zechsteinoberfläche im Bereich des Gorzów Blockes im Südosten des Modells. Im Südwesten ist die Zechsteinoberfläche dagegen intensiv durch Störungssysteme beeinflusst (Buckower Störungszone, Guben-Fürstenwalder Störungszone, siehe Abb. 9). Die Morphologie der Zechsteinoberfläche und die Störungsaktivität prägen auch die hangenden Horizonte, sie klingt jedoch langsam ab (Abb. 7 unten: Basis Lias und Abb. 8: transgressive Horizonte: Basis Oberkreide und Basis Ter-

tiär). Die hier nicht dargestellte Quartärbasis schließt das Modell ab. Im Norden, im Bereich der Inseln Usedom und Wolin, ist das Tertiär flächenhaft durch Quartär erodiert, in den übrigen Modellregionen durchschneiden zahlreiche pleistozäne Rinnen die Tertiärbasis bis hinein ins Mesozoikum.

Das Störungsinventar ist in Abb. 9 zum einen in perspektivischer 3D-Ansicht (zusammen mit der Basis Zechstein) und als 2D-Karte (mit zusätzlichen topographischen Elementen und der Datenbasis) dargestellt. Es umfasst Störungen, die nur an der Zechsteinbasis auftreten mit in der Re-

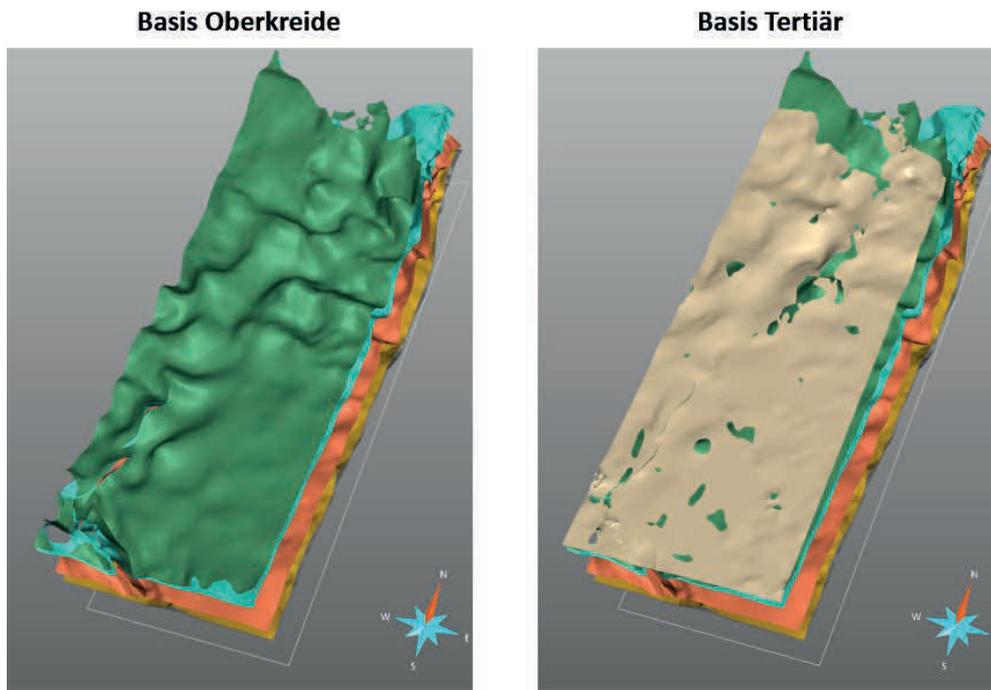


Abb. 8:
Horizontflächen Basis
Oberkreide und Basis
Tertiär des geologischen
3D-Modells im deutsch-
polnischen Grenzgebiet
(Überhöhung 10fach)

Fig. 8:
Horizons base of Upper
Cretaceous and base of
Tertiary of the harmonized
3D-model of the Polish-German
border region
(vertical exaggeration 1:10)

gel geringen vertikalen Versätzen von einigen 10er Metern, und Störungen/Störungszonen, die von der Zechsteinbasis bis ins Mesozoikum und z. T. bis in das Tertiär reichen. Diese können bei einer Kopplung mit Salztektonik im Mesozoikum z. T. Vertikalversätze von > 1.000 m aufweisen. Lokale Störungen im Top von einigen Salzstrukturen (Scheitelstörungen) sind in diesem regionalen Modell nur vereinzelt einbezogen.

Die Hauptstreichrichtungen der Störungen sind im Norden des Modells NNW/NW-SSE/SE, auf polnischer Seite z. T. auch N-S. Im Süden dominieren die Richtungen NW-SE (Guben-Fürstenwalder Störungzone) und NNE-SSW (Buckower Störungzone). Es wurden keine grenzüberschreitenden Störungen detektiert und modelliert, was folgende Gründe haben kann:

1. Ein Problem ist die Orientierung der Störungen in Beziehung zur Ausdehnung der seismischen Exploration und Ausrichtung der Messprofile. Die Störungen/Störungssysteme verlaufen im Grenzgebiet z. T. parallel bis subparallel zur Grenze oder vermutlich auch direkt an der Grenze (s. Abb. 9, Buckower Störungzone; Region Oderhaff, Usedom/Wolin) und sind ohne grenzüberschreitende Seismik kaum detektierbar. Die deutsch-polnische Grenze verläuft in der Mitte und im Süden des Modellgebietes entlang der Oder, die genau wie die Störungen abwechselnd den Streichrichtungen NW-SE, NE-SW folgt. Der Verlauf der Oder scheint hier zumindest teilweise tektonisch kontrolliert:
 - im mittleren Teil des Modells verläuft die Oder entlang der Verlängerung der Buckower Störungzone (Streichrichtung NE-SW, postulierte Buckow-Oderhaff-Störungzone z. B. STACKEBRANDT & BEER 2010),

- südlich davon verläuft die Oder NW-SE (parallel zur Guben-Fürstenwalder Störungzone) und weiter südlich wieder NE-SW (parallel Buckower Störungzone), um dann wiederum auf NW-SE umzuschwenken.
2. Limitierend ist zusätzlich die z. T. geringe Datendichte entlang der Grenze (s. Abb. 2 und Abb. 9):
 - in einigen Regionen erfolgte bisher keine Exploration bzw. es liegt nur Altseismik der 1960er Jahre vor,
 - grenzüberschreitende Seismik fehlt völlig. Grenznahe Profile enden einige 100 m bis mehrere km vor der Grenze und liefern zudem an den Rändern aufgrund verringerter Überdeckung nur noch eingeschränkte Information. Selbst in gut untersuchten Regionen beiderseits der Grenze gibt es deshalb einen grenzparallelen Korridor von einigen km Breite mit fehlender oder zumindest stark reduzierter seismischer Information. Die Horizonte können in wenig gestörten Gebieten über solche Entfernungen extrapoliert werden, aber für einen Störungsnachweis und eine Störungskartierung ist eine höhere Informationsdichte erforderlich.

5.2 Petrophysikalisches Modell – Gesteinsdichte

Zur Nutzung der gravimetrischen Daten (Abschnitt 4.2) in einer gravimetrischen Modellierung zur Prüfung und Spezifizierung des geologischen Modells sind zusätzlich Angaben zur Dichte der Horizonte erforderlich. Zur Gesteinsdichte liegen in beiden Ländern umfangreiche Daten vor, die jedoch nach unterschiedlichen Methoden ermittelt wurden.

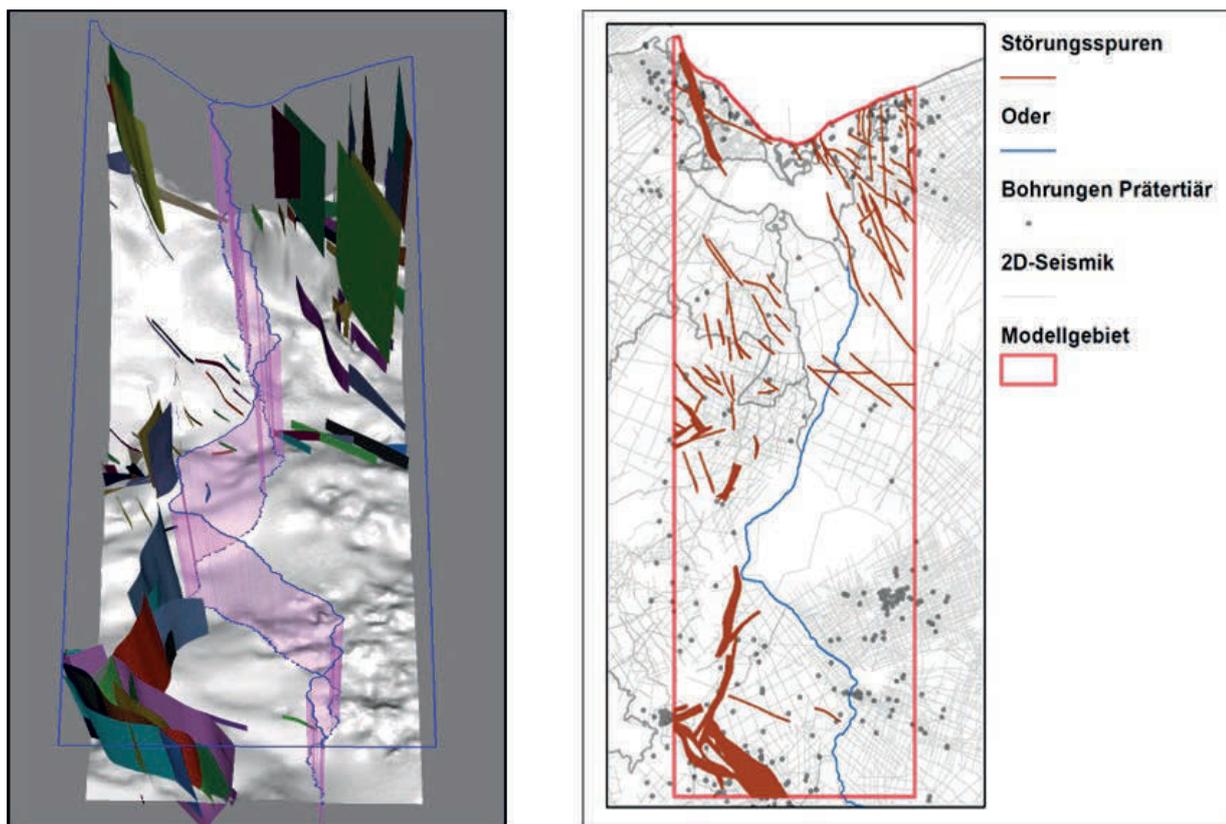


Abb. 9: Harmonisiertes Störungsmodell mit Störungen an der Basis Zechstein und im Hangenden des Zechsteinsalzes in der polnisch-deutschen Grenzregion. Links: 3D-Ansicht mit den modellierten Störungsebenen und der Basis des Zechsteinsalzes. Die deutsch-polnische Grenze bzw. der Verlauf der Oder ist durch eine Linie und transparente rosa Fläche markiert. Rechts: 2D-Ansicht mit vertikalen Störungsspuren (braun), Datenbasis 2D-Seismik (hellgrau) und Tiefbohrungen (grau)

Fig. 9: Harmonized fault model showing sub-salt faults and supra-salt faults in the Polish-German border region. Left: 3D-view of the modelled fault planes and the base of Zechstein horizon. The German-Polish border and the river course of the Oder is marked as a transparent pink plane. Right: 2D-vertical view with fault traces (brown), 2D-seismic lines (light grey) and deep wells (gray dots)

Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern:

- Gesteinsdichte aus Kernmaterial von Bohrungen,
- daraus abgeleitet Mittelwerte und empirische Dichte-Teufen-Beziehungen für lithostratigraphische Einheiten (KOPF 1967, KÖHLER & EICHNER 1973).

Polen:

- Gesteinsdichte aus Kernmaterial von Bohrungen,
- Kontinuierliche RHOB-logs ($\gamma\gamma$) aus Bohrungen.

Ein Vergleich der Dichten der lithostratigraphischen Einheiten bzw. Modellschichten ergab eine systematische Diskrepanz zwischen den Formationsmittelwerten aus Kerndaten und aus RHOB-logs ($\gamma\gamma$)-logs (insbesondere im Mesozoikum). Die anhand von Kernmaterial abgeschätzten mittleren Formationsdichten sind höher, als die auf der Basis kontinuierlicher RHOB-logs ermittelten Werte. Diese Diskrepanz nimmt aufgrund zunehmender Kompaktion des Gesteins mit zunehmender Dichte und Tiefe tendenziell ab. Sie ist von Kreide bis Keuper in geringen Teufen (Dichten überwiegend $< 2,4 \text{ g/cm}^3$) besonders ausgeprägt

und verschwindet im Muschelkalk und Buntsandstein zunehmend (Dichten $> 2,4 \text{ g/cm}^3$). Im Zechstein tritt der Effekt kaum auf. Als Ursache wird vermutet, dass bei Kernbohrungen eine Selektion der besonders stabilen, kompakten Bereiche der Formation (mit erhöhter Dichte) erfolgte und instabile, gering kompaktierte Bereiche mit geringer Dichte nur untergeordnet beprobt wurden (z. B. aufgrund von Kernverlust oder nachträglichem Kernzerfall) und damit unterrepräsentiert sind. Bei kontinuierlichen RHOB-logs wird dagegen die gesamte Abfolge, inklusive der gering kompaktierten und ggf. instabileren Formationsbereiche erfasst. Es wurde im Projekt entschieden, die Werte der RHOB-logs als repräsentativ anzusehen und die aus Kerndaten ermittelten Werte in Ostdeutschland an diese über aktualisierte Dichte-Teufen-Beziehungen anzupassen. Die bisher ermittelten Dichte-Teufen-Beziehungen für den Ostteil des Norddeutschen Beckens von KOPF (1967) und KÖHLER & EICHNER (1973) sind deshalb überarbeitungsbedürftig.

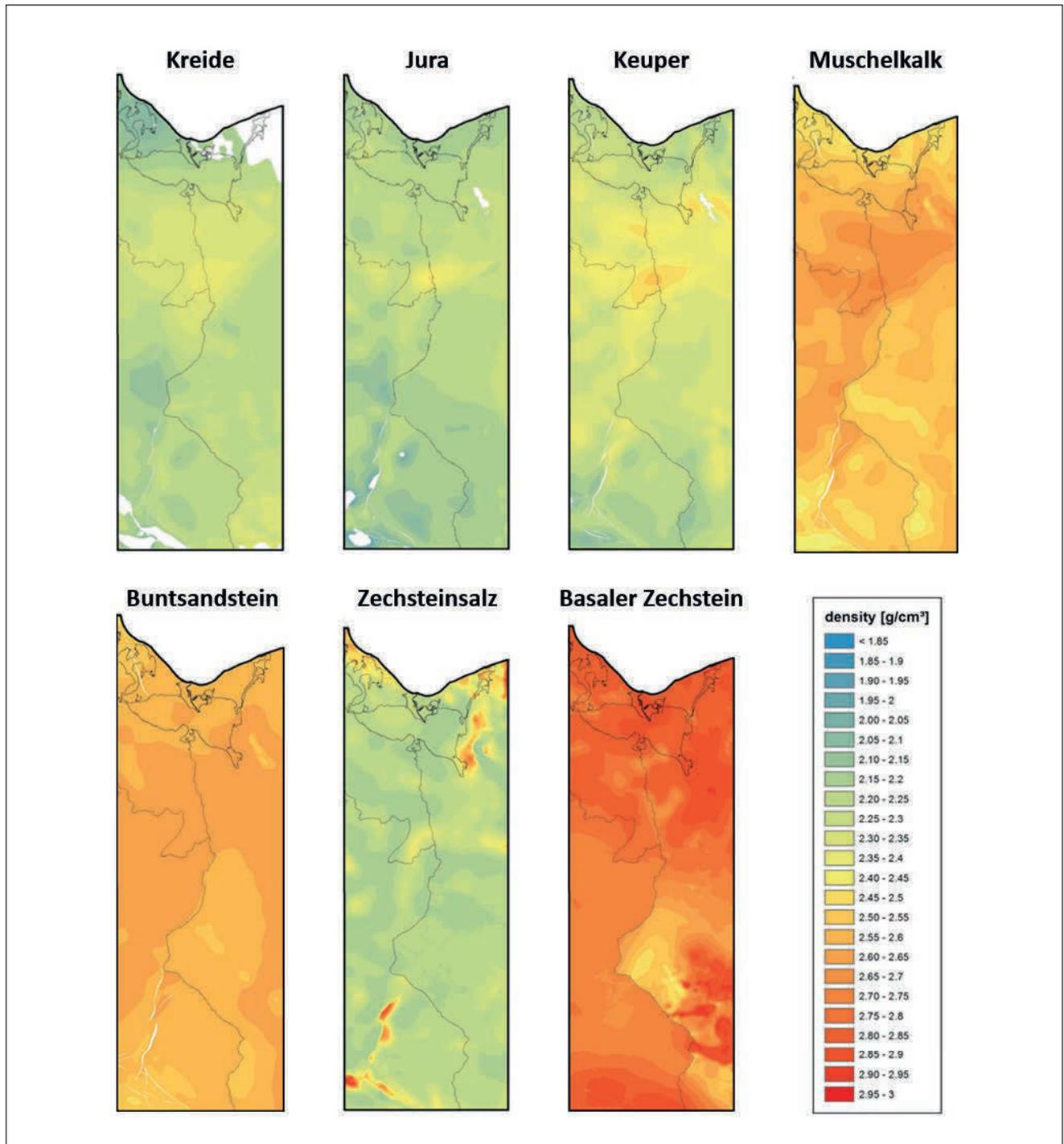


Abb. 10: Dichtemodell der deutsch-polnischen Grenzregion: Dichte der Modellschichten Kreide bis Basaler Zechstein
 Fig. 10: Density model of the German-Polish border region: densities for the model layers Cretaceous to Basal Zechstein

Das Dichtemodell zeigen die Abb. 10, Abb. 11 sowie Tab. 2. Die Dichteverteilungen ließen sich überwiegend grenzübergreifend harmonisieren. In den mesozoischen Horizonten folgt die regionale Verteilung der Dichte in den lithostratigraphischen Einheiten im Allgemeinen der Tiefe der Formationen, da mit größerer Tiefe eine zunehmende Kompaktion des Gesteins durch die zunehmende Auflast erfolgt. Im Zechstein ist die mittlere Dichte des Zechsteinsalzes oberhalb des Basalen Zechsteins vom Diapirismus

abhängig. Im Bereich von Salzakkumulation verringert sich die Gesamtdichte durch die Anreicherung von leichtem NaCl (Dichte $\approx 2,2 \text{ g/cm}^3$) und die relative Abreicherung von schwerem Anhydrit (Dichte $\approx 2,9\text{--}3 \text{ g/cm}^3$) und Karbonat (Dichte Dolomit $\approx 2,8 \text{ g/cm}^3$, Dichte Calcit $\approx 2,7 \text{ g/cm}^3$). In Salzabwanderungsgebieten ist die Tendenz entsprechend entgegengesetzt (s. Abb. 10, Zechsteinsalz). Im Basalen Zechstein ist die Gesamtdichte abhängig von den Anteilen an Anhydrit, Dolomit/Calcit, Halit und der Porosität

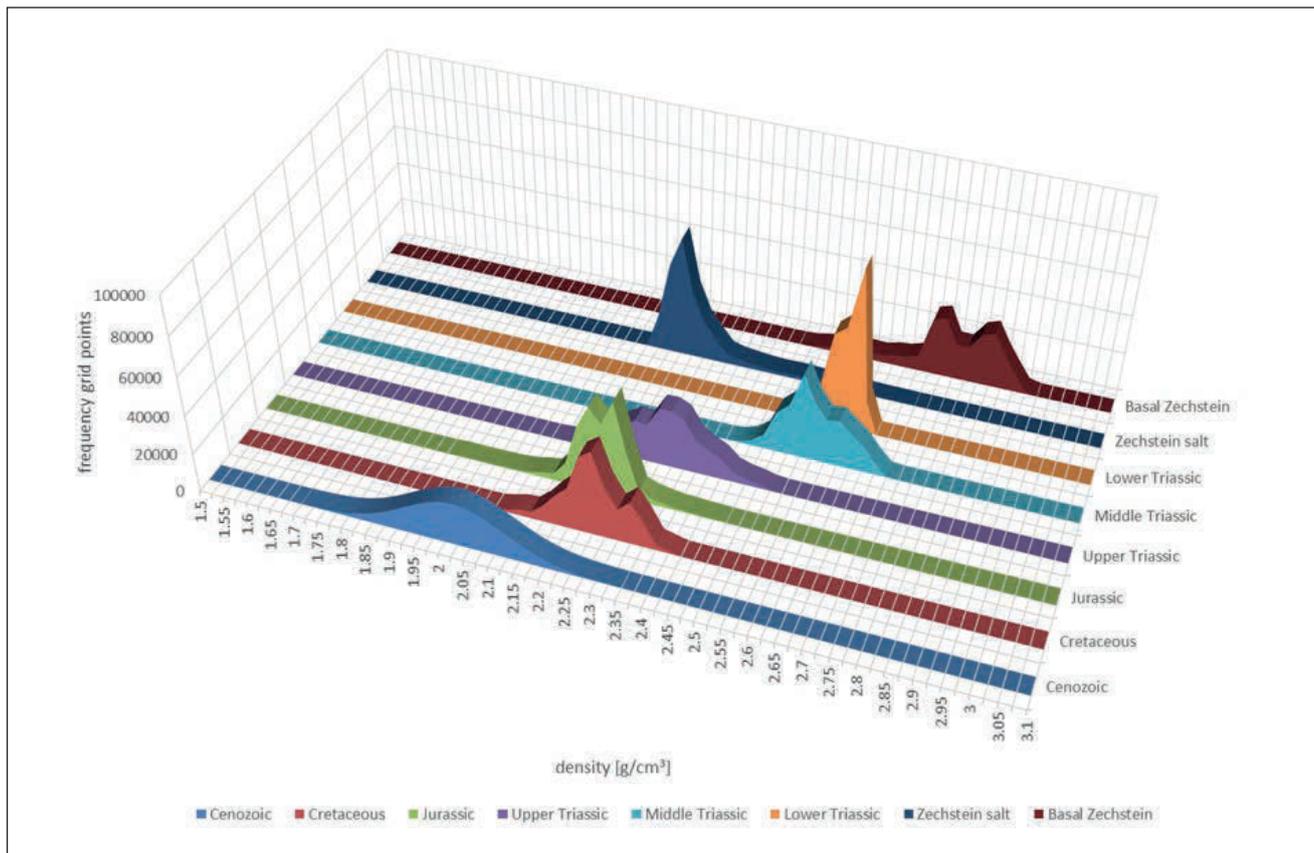


Abb. 11: Histogramme der Dichteverteilung in den Modellschichten Känozoikum bis Basaler Zechstein
 Fig. 11: Histograms of the density distribution for the model layers Cenozoic to Basal Zechstein

Mittelwerte (μ) und Standardabweichungen (σ) der Dichte in den Modellhorizonten								
Density [g/cm ³]	Känozoikum	Kreide	Jura	Keuper	Muschelkalk	Buntsandstein	Zechstein Salz	Basaler Zechstein
μ	2.00	2.24	2.21	2.30	2.56	2.59	2.24	2.76
σ	0.050	0.060	0.055	0.076	0.059	0.029	0.086	0.088
Markante Dichteveränderungen an lithostratigraphischen Grenzen								
Stratigraphische Grenze		Dichte Differenz [g/cm ³]	Dichte Differenz [%]	Seismischer Reflektor (deutsche bzw. polnische Bezeichnung, s. Tab. 1)				
Känozoikum – Kreide		$\approx + 0,24$	+ 10%	T1 / -				
Keuper – Muschelkalk		$\approx + 0,25$	+11%	M2' / Tm				
Buntsandstein – Zechstein-Salz		$\approx - 0,35$	-13%	X1 / Zstr				
Zechstein Salz – Basaler Zechstein		$\approx + 0,5$	+23%	Z1 / Z2				

Tab. 2: Oben: Statistische Kennwerte der Dichteverteilung in den Modellschichten. Unten: Markante Dichteveränderungen im Modell mit damit verbundenen seismischen Reflektoren
 Tab. 2: Top: statistical characteristics of the density in the model layers (mean μ and standard deviation σ). Bottom: prominent changes of the density in the stratigraphic succession an related seismic reflectors

sität und Porenraumfüllung. In der mittleren und südlichen Modellregion zeigten sich für den Basalen Zechstein einige Abweichungen auf deutscher und polnischer Seite im grenznahen Bereich, die durch die in Bohrergebnissen lokal sehr unterschiedlichen Anteile des Werra-Steinsalzes verursacht werden. Aufgrund der geringen Informationsdichte ließen sich diese nicht abschließend angleichen.

In der Abfolge treten lithologisch bedingt einige markante Dichtesprünge an stratigraphischen Grenzen auf (Abb. 11, Tab. 2, unten), die zusammen mit den sich hier ebenfalls stark ändernden Kompressionsmodulen ausgeprägte seismische Reflexionen bewirken (Tab. 2, unten).

Für das nicht im geologischen Modell enthaltene Prä-Zechstein wurden vereinfachte Annahmen nach lithologisch-petrologischen Kriterien und Modellvorstellungen (KATZUNG et al. 2004, GRAD et al. 2009, FRANKE et al. 2015) getroffen:

Tiefe unterhalb der Basis Zechstein [km]	Lithologie	Mittlere Dichte [g/cm ³]
6	Paläozoische Sedimente und Vulkanite (sauer)	2.65
15	Proterozoische Kruste (überwiegend saure Vulkanite und Granite)	2.7
≈ 30	Proterozoische Kruste (Granite/Diorite)	2.85

Tab. 3: Modellstruktur der Prä-Zechstein-Abfolge

Tab. 3: Model structure of the Pre-Zechstein succession

5.3 Modellvalidierung und Ansätze zur Optimierung

Das Horizontmodell (Abschnitt 5.1), das Dichtemodell (Abschnitt 5.2) und die Bouguer-Anomalie (Abschnitt 4.2) wurden beim Spanischen Kooperationspartner Instituto Geológico y Minero de España (IGME) in der Software Oasis Montaj (SEQUENT) für gravimetrische Modellierungen zusammengeführt. In einem ersten Schritt erfolgten Spektralanalysen des gravimetrischen Signals der Bouguer-Karte zur Abschätzung der wirksamen Tiefen. Es zeigte sich, dass sich die wirksamen Strukturen im Wesentlichen in Tiefen bis etwa 20 km befinden.

Anschließend erfolgten Forward-Modellierungen, in denen das aus geologischem Modell und Dichte-Modell resultierende gravimetrische Signal berechnet und mit dem gemessenen Signal verglichen wurde. Das Ergebnis zeigt Abb. 12 (links). Es ergeben sich z. T. große Abweichungen von > 10 mGal und < 10 mGal, die auf verschiedene Ursachen zurückführbar sind:

1. mögliche Fehler im geologische Modell oder/und Dichtemodell,
2. wirksame Strukturen, die nicht im geologischen Modell und Dichtemodell enthalten sind – hier insbesondere Strukturen aus dem Präzechstein, das im Modell sehr vereinfacht und räumlich homogen angenommen wurde (vgl. Tab. 3).

In den positiven Anomalien ist das gemessene Bouguer-Signal größer als das Signal aus dem Modell, d. h. die Modellmasse ist in diesen Regionen zu gering, in den negativen Anomalien ist das gemessene Bouguer-Signal kleiner und die Modellmasse entsprechend zu hoch.

Ein Indiz für Modellfehler ist, wenn Anomalien der gravimetrischen Forward-Modellierung räumlich mit Strukturen des Modells zusammenfallen. Das trifft insbesondere auf die zwei markantesten, stark positiven Anomalien nahe der polnisch-vorpommerschen Grenze im nördlichen Modellgebiet zu (Abb. 12 links). Die Abweichungen zwischen Modell und Messwerten sind > 12 mGal, d. h. aufgrund der positiven Abweichung liegt hier eine zu geringe Modellmasse vor. Die Anomalien entsprechen Salzrandsenken im Grenzgebiet, die hinsichtlich Geometrie und/oder Dichte bisher nicht adäquat modelliert sind (zum Vergleich Abb. 12 rechts, Tiefenlage der Zechsteinoberfläche und Datenbasis Seismik sowie Tiefbohrungen). Diese zwei auffälligen Anomalien fallen zudem in ein Gebiet sehr geringer Erkundungsdichte, in dem auf polnischer Seite nur wenige Profile mit Altseismik aus den 1960er Jahren und sehr wenige Alt-Bohrungen existieren. In der zweiten Region mit größeren Datenlücken auf polnischer Seite im mittleren Modellteil (Region s. Chojna, Abschnitt 4.1) wird das gravimetrische Signal besser wiedergegeben. Die Abweichungen in der Bouguer-Schwere sind im Allgemeinen < 8 mGal und sind vermutlich vor allem durch Strukturen im Präzechstein bedingt. Hier ist die Salzdyamik gering ausgeprägt und das Mesozoikum ist überwiegend flach horizontal lagernd. Die in dieser Region bei der Horizontmodellierung erfolgten Extrapolationen (s. Abschnitt 5.1, Abb. 6) geben die Verhältnisse offensichtlich relativ gut wieder.

Ein Indiz für zusätzliche wirksame Strukturen sind Anomalien in der Forward-Modellierung, die nicht mit Modellstrukturen zusammenfallen. Hier zeichnen sich insbesondere im Süden des Modells großräumige Strukturen ab, die in ihrem Streichen parallel zu den in Abschnitt 5.1 diskutierten Störungsrichtungen verlaufen und möglicherweise mit tiefen Krustenstrukturen zusammenhängen.

Ein weiterer Schritt gravimetrischer Modellierungen sind Inversionen, bei denen für einzelne Modelllayer die Tiefe, die Mächtigkeit und/oder die Dichte numerisch variiert werden, um eine verbesserte Anpassung des Modellsignals an die gemessenen Bouguer-Werte zu erreichen. Durch Inversionen der Dichteverteilungen der Präzechstein-Schichten (die mit homogener Dichte und

Mächtigkeit angenommen wurden, s. Tab. 3) und der Dichte und Tiefenlage des Zechsteinsalzes wurde untersucht, inwiefern Präzechstein-Strukturen das gravimetrische Signal beeinflussen und wie Modifikationen insbesondere der Dichte des Zechsteinsalzes das Ergebnis verbessern können.

In Abb. 13 (links) ist als Ergebnis einer Inversion die modellierte Dichte im Paläozoikum dargestellt. Die Mächtigkeiten der Schichten sind konstant gehalten (s. Tab. 3). Die modellierte Dichteverteilung im Proterozoikum ist ähnlich bei etwas erhöhten Werten. Die ermittelten Dichten liegen in plausiblen Wertespannen, sind jedoch in diesem Stadium der Modellentwicklung nicht als mineralogisch/ptrophysikalische Interpretation anzusehen, sondern als Ergebnis eines mathematischen Optimierungsprozesses, der durch schrittweise Variation einzelner Parameter erfolgt. Ähnliche bis identische Effekte auf die Bouguer-Anomalie können auch mit räumlich variierenden Mächtigkeiten der Modellschichten bei modifizierten Dichten bewirkt werden. Die markanten Abweichungen aus der Forward-Modellierung (Abb. 12, links), die vermutlich aus Modellungenauigkeiten

im Mesozoikum stammen, pausen sich in der Inversion auf das Paläozoikum durch und führen zu zwei Dichteanomalien in dieser Region, die jedoch wenig realistisch für das Paläozoikum/Proterozoikum sind. Sie könnten ggf. durch Intrusionskörper bedingt sein, für die es jedoch z. B. in magnetischen Messungen keine Hinweise gibt. In gewissen Grenzen interpretierbar sind die großräumigen Dichtekontraste, die in ihren Ausrichtungen NW-SE und NNE-SSW den wesentlichen tektonischen Richtungen und im mittleren und südlichen Modellteil dem Verlauf der Oder folgen. Es ist zu vermuten, dass entlang dieser Dichtekontraste tiefere tektonische Strukturen verlaufen, so etwa Blöcke unterschiedlicher Dichte und Mächtigkeit in Teufen > 10 km.

Die Abweichung des modellierten Bouguer-Signals von der gemessenen Bouguer-Anomalie nach Inversion der Dichte im Paläozoikum/Proterozoikum zeigt Abb. 13 (rechts). Die Abweichungen im Vergleich zur Forward-Modellierung (Abb. 12, links) sind deutlich geringer (> -6 bis -6 mGal) und kleinräumiger aufgrund der durch die Modellschichten Paläozoikum/Proterozoikum hervorgerufenen großräumigen Signale. Die Abweichungen lassen

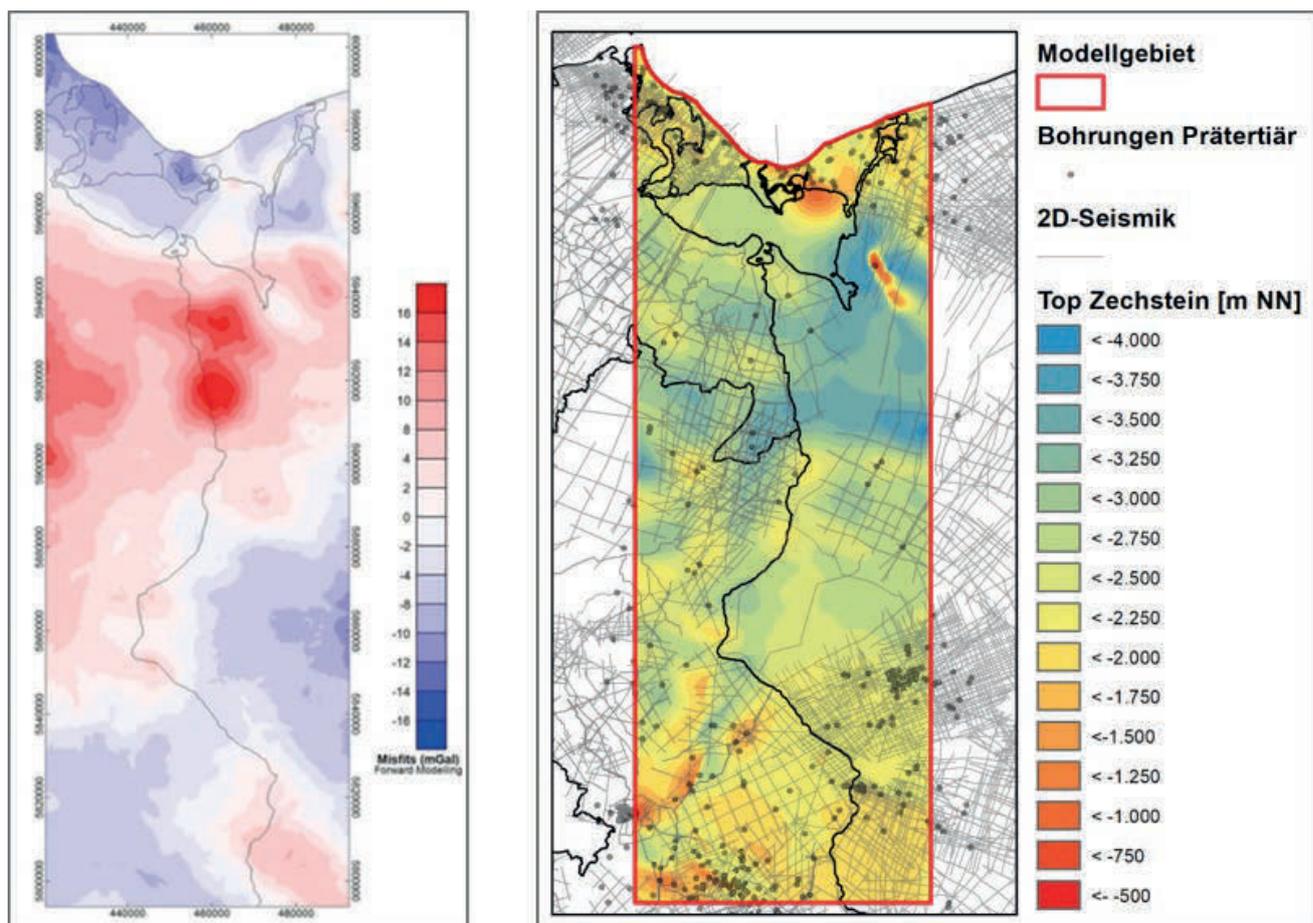


Abb. 12: Links: Abweichungen der Bouguer-Anomalie der Forward-Modellierung in mGal (Differenz zwischen beobachteter und berechneter Bouguer-Anomalie). Rechts: Tiefenlage der Zechsteinoberfläche und Datenbasis Seismik und Tiefbohrungen

Fig. 12: Left: Misfits of the Bouguer-Anomaly from the Forward Modelling in mGal (difference between observed and calculated anomaly). Right: depth of the Top of Zechstein salt and database seismics and deep boreholes

sich jetzt genauer auf Strukturen beziehen, deren Modellierung in Geometrie oder/und Dichte bisher Ungenauigkeiten aufweist.

Im Weiteren wurden Inversionen von Tiefenlage, Mächtigkeit und Dichte des Zechsteinsalzes durchgeführt, um die Auswirkungen der Variation dieser Parameter auf das gravimetrische Signal zu untersuchen. Aufgrund des großen Gesamtvolumens des Zechsteinsalzes im Modell und seiner großen Mächtigkeitsunterschiede (s. Abb. 12) haben relativ geringe Änderungen der Dichte ($\pm 0,08 \text{ g/cm}^3$) und der Mächtigkeit ($\pm 200 \text{ m}$) bereits deutliche Auswirkungen auf das gravimetrische Signal (AYALA et al. 2021). Insbesondere die Unsicherheit der statistisch ermittelten Dichten der Modellschichten liegen lokal durchaus in dieser Spannweite (und darüber), sodass eine Präzisierung der Dichteverteilung im Zechsteinsalz zu einer deutlich verbesserten Modellanpassung führen kann.

Die Validierung des geologischen/ petrophysikalischen Modells durch eine gravimetrische Modellierung gibt also konkrete Hinweise auf Ungenauigkeiten und erlaubt es,

Fehlerbereiche räumlich einzugrenzen. Für eine weitere Optimierung ist eine Überarbeitung des geologischen 3D-Modells und des Dichtemodells erforderlich. Diese erfolgt derzeit bei PGI-NRI im nördlichen Modellteil Szczecin Trough, insbesondere durch Aufarbeitung und Neuinterpretation von analoger Altseismik. Auch liegen eine Reihe von Informationen zu Strukturen und zur Petrophysik im Rotliegenden vor, die zukünftig eine direkte Modellierung tieferer Modellschichten ermöglichen. Im Anschluss können optimierte gravimetrische Modellierungen eine bessere Anpassung des Modells und ein deutlicheres Bild der tiefen tektonischen Strukturen liefern.

6 Zusammenfassung/Summary

Im Rahmen des europäischen Forschungsnetzwerkes GeERA „Establishing the European Geological Surveys Research Area to deliver a Geological Service for Europe“ erfolgte die Entwicklung und Harmonisierung von geologischen 3D-Modellen des Zechsteins und des mesozoisch-känozoischen Deckgebirges im deutsch-polnischen Grenz-

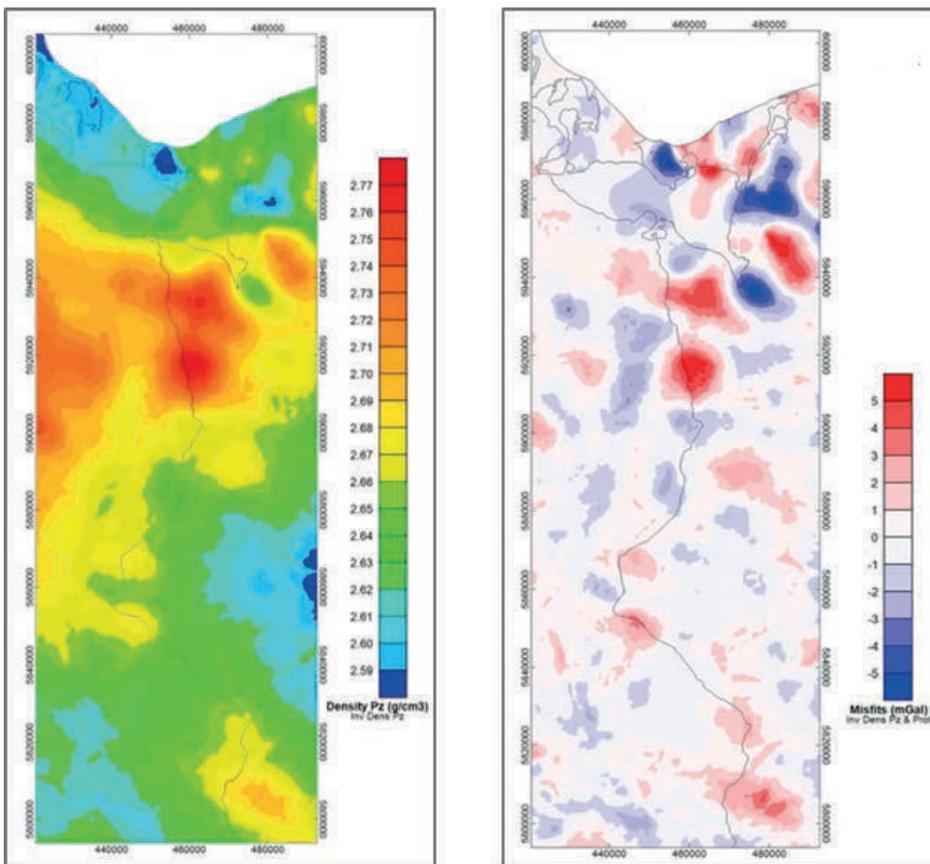


Abb. 13: Links: Modellierte Dichteverteilung [g/cm^3] im Modelllayer Paläozoikum (bei konstant angenommener Mächtigkeit von 6 km) nach Inversion von Paläozoikum und Proterozoikum. Rechts: Abweichungen der Bouguer-Anomalie nach Inversion von Pläozoikum und Proterozoikum in mGal (Differenz zwischen beobachteter und berechneter Bouguer-Anomalie)

Fig. 13: Left: Modelled density distribution [g/cm^3] in the Paleozoic layer (with a constant thickness of 6 km) after inversion of Paleozoic and Proterozoic. Right: Misfits (in mGal) from the inversion of Paleozoic and Proterozoic densities (difference between observed and calculated anomaly)

gebiet und eine grenzüberschreitende Bestandsaufnahme der geologischen und geophysikalischen Datengrundlagen zur Tiefengeologie. Eine Korrelation und Harmonisierung der Basisdaten, die in einer Reihe von Kooperationen in der Vergangenheit ab den 1970er Jahren immer wieder erfolgte, war weitgehend problemlos möglich. Allerdings bestehen größere Datenlücken im deutsch-polnischen Grenzgebiet in Seismik und Bohrerkundung. Dagegen liegen gravimetrische Daten flächendeckend und in hoher Dichte vor. Die in einem ersten Schritt bei den Kooperationspartnern LBGR, LUNG und PGI-NRI einzeln entwickelten Modelle ließen sich abschließend weitgehend widerspruchsfrei in einem gemeinsamen grenzüberschreitenden Modell zusammenführen. In den bestehenden Datenlücken erfolgten Extrapolationen. Das harmonisierte Gesamtmodell gibt ein grenzüberschreitendes Bild der Tiefenlage und Mächtigkeit wichtiger lithostratigraphischer Horizonte, der Salzstrukturen und des regionalen Störungsinventars. Aus petrophysikalischen und bohrlochphysikalischen Daten erfolgte zudem die Erarbeitung eines Dichtemodells der Modellhorizonte. Eine Validierung des Modells über eine gravimetrische Modellierung und deren Vergleich zu gravimetrischen Messdaten erbrachte neben der Ausweisung von bisher unplausiblen Bereichen im geologischen Modell, die noch der Überarbeitung bedürfen, auch Anhaltspunkte für tiefe krustale Strukturen. Weiterführende Informationen zum Projekt, den Ergebnissen und Schlussfolgerungen finden sich in JAHNKE et al. (2021a, b, c) und AYALA et al. (2021).

In the framework of GeoERA „Establishing the European Geological Surveys Research Area to deliver a Geological Service for Europe“ harmonized 3D models of Upper Permian, Meozoic and Cenozoic strata were developed in the German-Polish border region including a cross-border evaluation of existing geological and geophysical data. The harmonization of the primary geological/geophysical data was possible, even the available data at the partner institutions have very different age and processing state from analog vintage data from the 1960s to modern digital data. However larger data gaps exist in seismics and well exploration in regions of minor economic interest. These gaps could be closed with gravimetrical data, that exist in the whole area with high spatial density. In a first step the partner institutions LBGR, LUNG and PGI developed own models using additional data and information from the partners. Finally, all pre-adjusted models were joined in one joint modelling workflow to one harmonized and seamless model of the German-Polish border zone. This model gives an overview of depth and thicknesses of the major stratigraphic units, salt structures and fault network. In addition, a density model for the horizons was developed based on petrophysical and wireline data. A verification of the models using gravimetrical modelling in comparison to measured Bouguer data could identify some still implausible areas, where the model should be reworked, and in addition indications regarding deep structures in the Upper crust. Further information about the project, the workflows,

results and lessons learned can be found in JAHNKE et al. (2021a, b, c) and AYALA et al. (2021).

7 Danksagung/Acknowledgement

Das Projekt „3DGEO-EU 3D Geomodelling for Europe“ als Teil des GeoERA-Netzwerkes wurde gefördert durch die Europäische Union im Horizont 2020 Forschungs- und Innovationsprogramm unter der Fördervereinbarung Nr. 731166 (Grant Agreement Number 731166)

The project „3DGEO-EU 3D Geomodelling for Europe“ as a part of the GeoERA-framework has received funding by the European Union's Horizon 2020 research and innovation program under grant agreement number 731166



Literatur

- AYALA, C., JAHNKE, C., OBST, K., MUSIATEWICZ, M., ROSOWIECKA, R. & E. PUEYO (2021): Deliverable 6.3 3DGEO-EU, Harmonization procedure in the Polish-German border using gravimetric data. Report zum Arbeitspaket 6.3 des Projektes 3DGEO-EU (abrufbar unter: [https://geoera.eu/projects/3dgeo-eu:deliverable D6.3](https://geoera.eu/projects/3dgeo-eu:deliverable%20D6.3), Harmonization procedure with GravMag in POL-GER border)
- CONRAD, W., GEILING, P., HÄNIG, D., TOMASCHOWSKI, S., JAMROZIK, J., NOWICKA, A. & I. ZAMEJSKI (1991): Komplexbericht Ahlbeck - Zary. Gemeinsame Interpretation der gravimetrischen und magnetischen Meßergebnisse im Grenzbereich Polen/Deutschland. Leipzig, Warszawa: Geophysik GmbH Leipzig & Biuro Geologiczne Geonafra Warszawa (unveröff.)
- DOORNENBAL, H. & A. STEVENSON (Eds.) (2010): Petroleum geological atlas of the southern Permian Basin area. – Houten: EAGE Publications (abrufbar unter <https://www.nlog.nl/southern-permian-basin-atlas>)
- FRANKE, D., HOFFMANN, N. & J. KOPP (2015): Strukturgeologische Entwicklung. Krustenbau und kristallines Fundament. – In: STACKEBRANDT, W. & D. FRANKE (Hrsg.): Geologie von Brandenburg. – S. 439–448, Schweizerbart, Stuttgart
- GÖTHEL, M. (2016): Lithologische Interpretation und stratigraphisches Niveau der reflexionsseismischen Horizonte im Untergrund Brandenburgs einschließlich Berlins. – Brandenburgische Geowiss. Beitr. 23 (2016), S. 85–90, Cottbus

- GRAD, M., TIIRA, T. & ESC Working Group (2009): The Moho depth map of the European Plate. – *Geophys. J. Int.* 176:279–292. doi:10.1111/j.1365-246X.2008.03919.x
- JAHNKE, C., SCHILLING, M., SIMON, A. & T. HÖDING (2021): Potenziale des unterirdischen Speicher- und Wirtschaftsraumes im Norddeutschen Becken (TUNB-Projekt). Teilprojekt 4 Brandenburg 2014–2020. – Abschlussbericht, Archiv des LBGR (unveröff.)
- JAHNKE, C., OBST, K., MAŁOLEPSZY, Z., MUSIATEWICZ, M., ROSOWIECKA, O., SZYNKARUK, E. & T. ŽUK (2021a): Deliverable 2.2, Documentation of harmonization methods, workflows and results. – 3DGEO-EU, GEOERA 3DGEO-EU, 3D Geomodelling for Europe, project number GeoE.171.005 (abrufbar unter: [https://geoera.eu/projects/3dgeo-eu:deliverable D2.2, Documentation of harmonization methods, workflows and results](https://geoera.eu/projects/3dgeo-eu:deliverable%20D2.2,Documentation%20of%20harmonization%20methods,%20workflows%20and%20results))
- JAHNKE, C., OBST, K., SZYNKARUK, E., MAŁOLEPSZY, Z. & T. ŽUK (2021b): Deliverable 2.3, Improved and harmonized geological 3D model at the Polish-German border region for the pilot areas. 3DGEO-EU, GEOERA 3DGEO-EU, 3D Geomodelling for Europe, project number GeoE.171.005 (abrufbar unter: [https://geoera.eu/projects/3dgeo-eu:deliverable D2.3, Final joint model with supporting documents](https://geoera.eu/projects/3dgeo-eu:deliverable%20D2.3,Final%20joint%20model%20with%20supporting%20documents))
- JAHNKE, C., OBST, K. & SZYNKARUK, E. & T. ŽUK (2021c): Deliverable 2.4, Final report including best practices/lessons learned/recommendations. 3DGEO-EU, GEOERA 3DGEO-EU, 3D Geomodelling for Europe, project number GeoE.171.005 (abrufbar unter: [https://geoera.eu/projects/3dgeo-eu:deliverable D2.4, Final Report Including Lessons Learned](https://geoera.eu/projects/3dgeo-eu:deliverable%20D2.4,Final%20Report%20Including%20Lessons%20Learned))
- JAMROZIK, J., A. SIPINSKA, W. CONRAD & D. HÄNIG (1978): Gemeinsame Interpretation der gravimetrischen Meßergebnisse im Grenzbereich VR Polen/DDR Szczecin-Stargard-Sulecin-Frankfurt/O.-Königs Wusterhausen-Strasburg. – Warszawa, Leipzig: ZOG GN Geonafra Warszawa & VEB Geophysik Leipzig (unveröff.)
- JAMROZIK, J., A. SIPINSKA, I. ZAMEJSKI, W. CONRAD, D. HÄNIG, S. TOMASCHESKI, und W. SCHIMANSKI (1984): Gemeinsame Interpretation der gravimetrischen Meßergebnisse im Grenzbereich VR Polen/DDR Frankfurt/O-Zary. – Warszawa, Leipzig: Biuro Geologiczne Geonafra Warszawa & VEB Geophysik Leipzig (unveröff.)
- JAMROZIK, J., A. SIPINSKA, I. ZAMEJSKI, W. CONRAD, D. HÄNIG, S. TOMASCHESKI, und W. SCHIMANSKI (1987): Gemeinsame Interpretation der gravimetrischen Meßergebnisse im Grenzbereich VR Polen/DDR Usedom-Szczecin. – Warszawa, Leipzig: Biuro Geologiczne Geonafra Warszawa & VEB Geophysik Leipzig (unveröff.)
- JAROSIŃSKI, Z., PAPIERNIK, B. & E. SZYNKARUK (2014): Koncepcja rozwoju cyfrowego modelowania budowy geologicznej Polski. *Przegląd Geologiczny* [A strategy to advance 3D geological modelling of the territory of Poland]. – *Przegląd Geologiczny* 62 (12), S. 801–805
- KATZUNG, G., FELDRAPPE, H. & K. OBST (2004): Präquartärer Untergrund. Vorpalaäozoikum. – In: KATZUNG, G. (Hrsg.): *Geologie von Mecklenburg-Vorpommern*, S. 40–98, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart
- KOPF, M. (1967): Der Dichteansatz für das Norddeutsch-Polnische Becken unter besonderer Berücksichtigung des vertikalen Dichtegradienten. – *Geologie* 16 (2), S. 181–199
- KÖHLER, R. & M. EICHNER (1973): Regionaler Dichteansatz für den Nordteil der DDR. – Gutachten VEB Geophysik Leipzig (unveröff.)
- KUHLMANN, G., BECKER, A., FELDMANN-OLSZEWSKA, A., HÖDING, T., MÜLLER, C., OBST, K. & G. PIENKOWSKI (2012): Transnational transects between Germany and Poland – Characterization of Jurassic reservoir and seal formations from borehole correlation connecting the eastern North German Basin and western Polish Trough. – *Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, Heft 80, S. 508
- KUHLMANN, G. (2014): Geopold – Grenzüberschreitende Geologie zwischen Polen und Deutschland (Projektphase I) (Transborder Geology between Poland and Germany). – Abschlussbericht Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (unveröff.)
- LBGR (Hrsg.) (2007): Erläuterungen zur Geologischen Karte 1:50.000, L Blatt 3752 Frankfurt (Oder)/ Slubice. – 139 S., 1 Anlage, Cottbus
- LBGR (Hrsg.) (2019): Erläuterungen zur Geologischen Karte 1:50.000, Blätter L3350 Bad Freienwalde (Oder), L3352 Letschin/Mieszkowice. – 142 Seiten, 2 Anlagen, Cottbus
- MORITZ H. (2000): Geodetic Reference System 1980. *Journal of Geodesy*, 74, S. 128–133. <https://doi.org/10.1007/s001900050278>
- OBST, K., BRANDES, J., MATTING, S., WOJATSCHKE, J. & A. DEUTSCHMANN (2021): Potenziale des unterirdischen Speicher- und Wirtschaftsraumes im Norddeutschen Becken (TUNB-Projekt). Teilprojekt 3 Mecklenburg-Vorpommern 2014–2020. – Abschlussbericht LUNG Mecklenburg-Vorpommern (unveröff.)
- REINHARDT, H.G. (1993): Structure of Northeast Germany: regional depth and thickness maps of Permian to Tertiary intervals compiled from seismic reflection data. – In: *Special Publication of the European Association of Petroleum Geoscientists. Generation, accumulation and production of Europe's hydrocarbons III*. – S. 155–165, Springer, Berlin, Heidelberg

RAPPSILBER, I., GÖTHEL, M., KÖHLER, E., KÜSTERMANN, W., LANGE, W.G., 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. – Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften **170** (1), S. 27–45

SCHILLING, M., SIMON, A., JAHNKE, C. & T. HÖDING (2015): Brandenburg 3D – GIS goes underground, a geological 3D model for the public. – In: SCHAEUBEN, H.; DELGADO, R.T.; VAN DEN BOOGAART, K.G.; VAN DEN BOOGAART, R. (Eds.) (2015): Proceedings of the 17 th Annual Conference of the International Association for Mathematical Geosciences (IAMG), p. 118–125, Freiberg

SKIBA, P., GABRIEL, G., SCHEIBE, R. & O. SEIDEMANN (2010): „Schwerekarte der Bundesrepublik Deutschland 1: 1.000.000“. – Hannover: Leibnitz-Institut für Angewandte Geophysik, 2010. <https://www.leibniz-liag.de/en/research/methods/gravimetry-magnetics/bouguer-anomalies.html>

STACKEBRANDT, W. & H. BEER (2010): Strukturgeologische Übersicht. In STACKEBRANDT, W. & V. MANHENKE (Hrsg.): Atlas zur Geologie von Brandenburg, 4. Aufl., 80–81. – Cottbus: LBGR Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, 2010

VEB Geophysik, Gruppe Regionales Kartenwerk Reflexionsseismik (1965–1991): Tiefenlinien Reflexionsseismischer Horizonte auf dem Gebiet der DDR. – Karten 1:100.000, 1:200.000, 1:500.000. – Leipzig (unveröff.)

VEB Geophysik Leipzig, Abteilung Seismik (1978): Reflexionsseismik Anschluß VR Polen – Tiefenlinienkarten der Horizonte S1 (Anhydrite im Unteren Röt), X1/X2 (Oberfläche Zechstein bzw. Oberfläche Hauptanhydrit der Leineserie), Z1 (etwa Unterkante Staßfurtsteinsalz), Maßstab 1:100 000. – Leipzig (unveröff.)

VEB Geophysik Leipzig, Abteilung Seismik (1980): Reflexionsseismik „Anschluß VR Polen“ – Tiefenlinienkarten der Horizonte S1 (Anhydrite im Unteren Röt), X1/X2 (Oberfläche Zechstein bzw. Oberfläche Hauptanhydrit der Leineserie), Z1 (Oberfläche Basalanhydrit der Staßfurtserie), Z3 (Zechsteinbasis), Maßstab 1:100.000. – Leipzig (unveröff.)

ZIMMERMANN, J. (2016): GeoPolD II – Transborder Geology between Poland and Germany (Grenzüberschreitende Geologie zwischen Polen Und Deutschland). – Final Report. Freiberg/Berlin: Technische Universität Bergakademie Freiberg/Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (unveröff.)

Anschriften der Autoren

Christoph Jahnke & Karsten Obst
Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie (LUNG)
Goldberger Straße 12b
18273 Güstrow
Email: Christoph.Jahnke@lung.mv-regierung.de

Thomas Höding
Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe
Brandenburg (LBGR)
Inselstraße 26
03046 Cottbus

Ewa Szykaruk, Zbigniew Małolepszy & Tomasz Żuk
Polish Geological Institute – National Research Institute
(PGI-NRI)
4, Rakowiecka Street
00-975 Warsaw

Emilio L. Pueyo & Conxi Ayala
CN Instituto Geológico y Minero de España (IGME-CSIC)
C/ Manuel Lasala 44, 9ºB
50006 Zaragoza

Brandenburg. Geowiss. Beitr.	Cottbus	Bd. 29/2022	S. 27–35	4 Abb., 1 Tab., 12 Zit.
------------------------------	---------	-------------	----------	-------------------------

Standortauswahlverfahren für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle in Deutschland – fachliche Grundlagen und Mitwirkung von Akteuren im Land Brandenburg, Stand des Verfahrens 2022

Site selection procedure for a nuclear waste repository in the FRG – technical basis and participation of stakeholders in the State of Brandenburg, status 2022

BIRGIT FUTTERER & THOMAS HÖDING

Zusammenfassung

Das Standortauswahlgesetz (StandAG) regelt seit 2017 die Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland. Vorhabenträger für das gesamte Verfahren, welches in drei Phasen unterteilt ist, ist die Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) mbH. In Schritt 1 von Phase I wurden durch die BGE potentiell geeignete Teilgebiete ermittelt und im September 2020 im Zwischenbericht Teilgebiete veröffentlicht. Von insgesamt 90 Teilgebieten deutschlandweit entfallen vollständig oder anteilsweise 17 Teilgebiete auf das Land Brandenburg. Aktuell befindet sich die Standortsuche in Schritt 2 von Phase I, die dann mit der Feststellung der Standortregionen für die übertägige Erkundung endet. Anhand der Veröffentlichungen der BGE, der Stellungnahmen zum Teilgebietsbericht und zur Methodenentwicklung für die repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (rvSU) werden die fachlichen Grundlagen und die Mitwirkung von Akteuren, sowie der Stand des Verfahrens im Jahr 2022 aus Sicht des Geologischen Dienstes Brandenburg dargestellt.

Summary

Since 2017, the Site Selection Act (StandAG) has regulated the search and selection of a site for a repository for high-level radioactive waste in the Federal Republic of Germany. The project sponsor for the entire procedure, which is divided into three phases, is the federal company for radioactive waste disposal (BGE) Ltd. In step 1 of phase I, potentially suitable subareas were identified by the BGE and published in the interim report Subareas in September 2020. Out of a total of 90 sub-areas in Germany, 17 sub-areas are completely or partially located in the State of Brandenburg. Currently, the site search is in step 2 of phase I, which ends with the determination of the siting regions for the surface exploration. Based on the publications of the BGE, comments on the subarea report and on the development of methods for the representative preliminary safety investigations, the technical

fundamentals and the participation of stakeholders as well as the status of the procedure in 2022 are presented from the perspective of the Geological Survey of Brandenburg.

1 Das Standortauswahlgesetz

Mit Inkrafttreten des Standortauswahlgesetzes (StandAG) in 2017 wurde die Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle geregelt. Das Ziel des Gesetzes ist in § 2 Absatz (2) formuliert: „Mit dem Standortauswahlverfahren soll in einem partizipativen, wissenschaftsbasierten, transparenten, selbsthinterfragenden und lernenden Verfahren für die im Inland verursachten hochradioaktiven Abfälle ein Standort mit der bestmöglichen Sicherheit für eine Anlage zur Endlagerung nach § 9a Absatz 3 Satz 1 des Atomgesetzes in der Bundesrepublik Deutschland ermittelt werden. Der Standort mit der bestmöglichen Sicherheit ist der Standort, der im Zuge eines vergleichenden Verfahrens aus den in der jeweiligen Phase nach den hierfür maßgeblichen Anforderungen dieses Gesetzes geeigneten Standorten bestimmt wird und die bestmögliche Sicherheit für den dauerhaften Schutz von Mensch und Umwelt vor ionisierender Strahlung und sonstigen schädlichen Wirkungen dieser Abfälle für einen Zeitraum von einer Million Jahren gewährleistet“ (STANDAG 2017).

Damit bewegt sich die Standortsuche zwischen der Erfüllung fachlicher Anforderungen mittels wissenschaftlicher Arbeitsweisen und Methoden und einer Nachvollziehbarkeit auf allen, nicht nur wissenschaftlichen Ebenen. Übertragen auf die Praxis ist es durch den im Juni 2011 durch den Deutschen Bundestag beschlossenen Ausstieg aus der Nutzung der Atomenergie zur gewerblichen Stromerzeugung bis Ende 2022 letztendlich erforderlich, für ca. 1900 Behälter mit 27000 m³ hochradioaktiven Abfällen eine dauerhafte sichere Endlagerung zu gewährleisten. Dabei ist dauerhaft mit einem Betrachtungszeitraum von einer Millionen Jahre gleichzusetzen. Sicher bedeutet gemäß § 23 StandAG ein Verschluss zwischen 300 und 1500 m Tiefe und damit in einem Endlagerbergwerk (BGE 2022C).

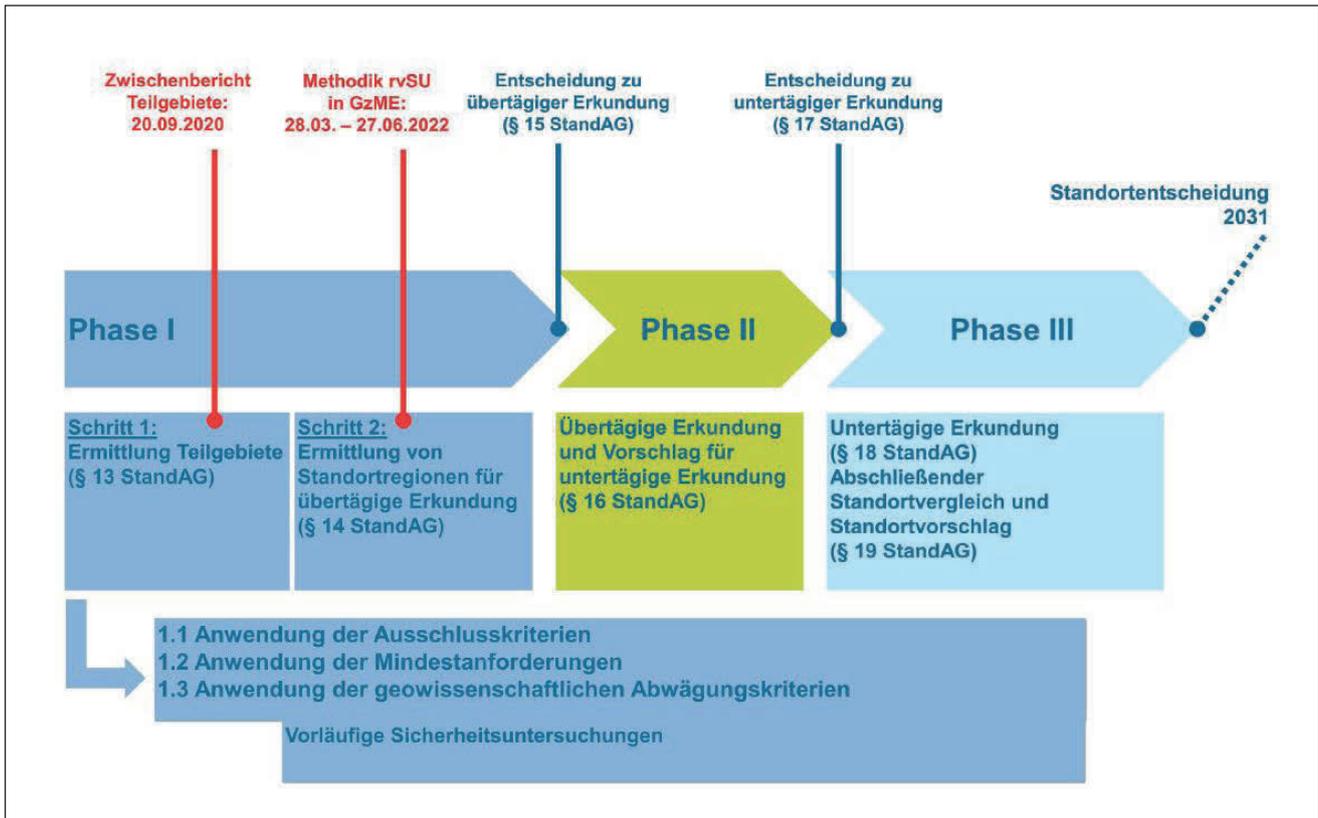


Abb. 1: Phasen bis zur Standortentscheidung im Standortauswahlverfahren für die Atommüll-Endlagerung, Stand August 2022. Quelle Zeitstrahl BGE (2022C)

Fig. 1: Phases leading up to the site decision in the site selection procedure for nuclear waste disposal, as of August 2022. Source timeline BGE (2022C)

Die Suche kann mit den Arbeitsschritten analog einer Rohstofferkundung, bei der letztendlich das Vorhandensein einer Lagerstätte nachgewiesen wurde, verglichen werden. Der Ablauf der Suche nach einem solchen Endlagerbergwerk gliedert sich demnach in drei Phasen (Abb. 1) und startet auf der „weißen Landkarte“, indem bisherige Ermittlungen dazu, z. B. BGR (2007), unberücksichtigt bleiben. Mit der Phase I werden Teilgebiete und Standortregionen für die übertägige Erkundung ermittelt, mit der Phase II findet die übertägige Erkundung statt und endet mit Vorschlägen für die untertägige Erkundung. Die Phase III endet mit dem Standortvorschlag, nachdem zu dieser Phase die untertägige Erkundung durchgeführt und ausgewertet wurde. Ziel ist es, diese Phase III in 2031 abzuschließen (STANDAG 2017).

2 Akteure und Aufgaben, Aktueller Stand des Verfahrens

Hauptakteur als Vorhabenträger und zuständig für das operative Geschäft in allen drei Phasen I bis III ist die Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) mbH (Abb. 2). Sie schlägt die Standortregionen und die zu erkundenden Standorte vor, erstellt standortbezogene Erkundungsprogramme und Prüfkriterien und führt die Erkundungen

durch. Das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) ist Kontroll- und Aufsichtsbehörde bei der Endlagersuche und hat die Ergebnisse der BGE insbesondere zum Abschluss der jeweiligen Phasen zu prüfen. Dabei ist das BASE auch zuständig für die Beteiligung der Öffentlichkeit und Träger öffentlicher Belange, die nach jeder der drei Phasen I bis III durchzuführen ist.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) übernimmt als Fach- und Rechtsaufsicht die politische und administrative Gesamtverantwortung für die Endlagerung. Es berichtet gegenüber dem Deutschen Bundestag. Nach jeder Phase legt die Bundesregierung dem Parlament ein Gesetz zur Abstimmung vor. Laut Gesetz berät der Bundestag über

1. die Standortregionen, die übertägig (§ 15 StandAG) und
2. die Standorte, die untertägig erkundet werden sollen (§ 17 StandAG) sowie über
3. den Standortvorschlag (§ 20 StandAG).

Das Nationale Begleitgremium (NBG) versteht sich als „unabhängiges, pluralistisch zusammengesetztes gesellschaftliches Gremium. Ziel ist es, die Endlagersuche für hoch radioaktive Abfälle vermittelnd zu begleiten - unabhängig, transparent und bürgernah“ (NBG 2022).

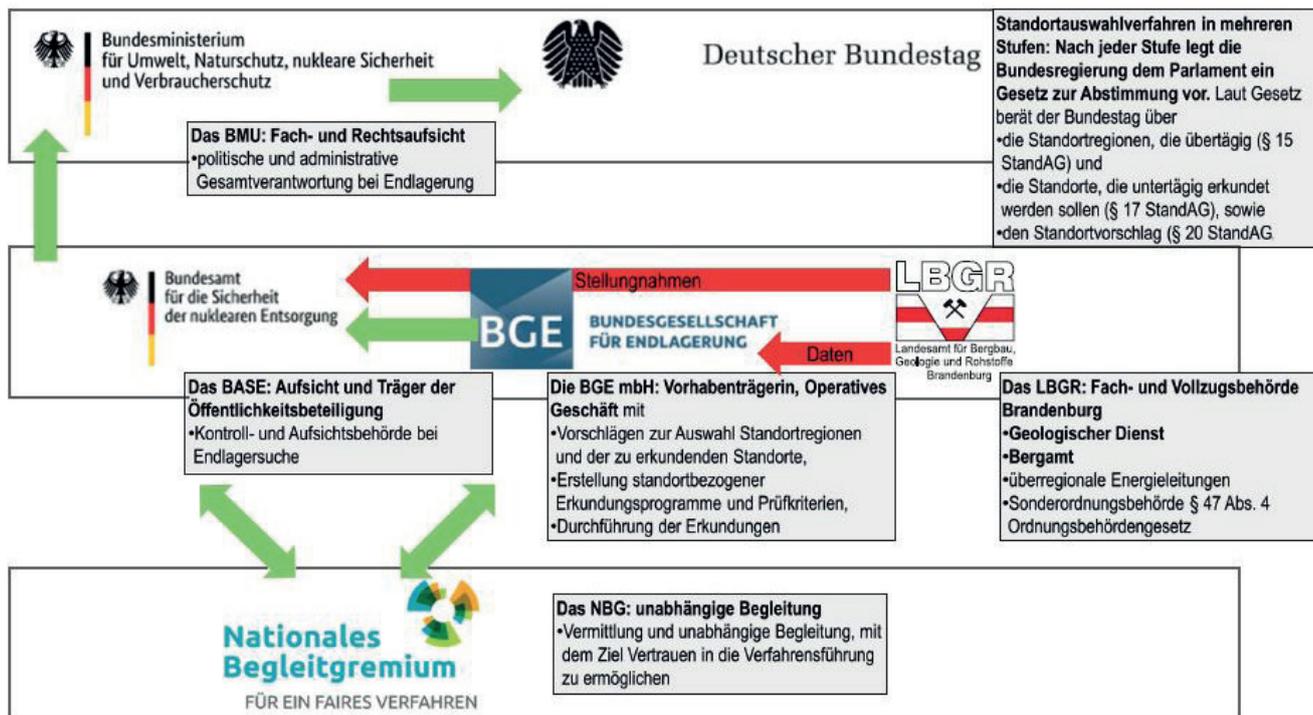


Abb. 2: Akteure und Aufgaben im Standortauswahlverfahren für die Atommüll-Endlagerung gemäß StandAG und Rolle des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR), Stand August 2022

Fig. 2: Stakeholders and tasks in the site selection procedure for nuclear waste disposal according to StandAG and role of the Brandenburg State Office for Mining, Geology and Raw Materials (LBGR), status August 2022

Das Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe ist einerseits Träger öffentlicher Belange (TÖB), dessen Aufgabenbereich durch einen Vorschlag des Vorhabenträgers berührt ist. Demnach ist das LBGR durch das BASE erst im Rahmen der Prüfung der Ergebnisse am Ende jeder Phase I bis III zu beteiligen, sofern die BGE in Brandenburg entsprechende Standortregionen und Standorte ausweist.

Andererseits kommen dem LBGR in seiner Funktion als Genehmigungsbehörde für bergrechtliche Verfahren und als Geologischer Dienst im Standortauswahlverfahren bereits vor den Beteiligungsverfahren als TÖB weitere Aufgaben zu. So regelt § 12 StandAG die Verpflichtung „Geodaten, insbesondere geowissenschaftliche und hydrogeologische Daten, die bei den zuständigen Landesbehörden vorhanden sind“, zur Verfügung zu stellen. „Zu den zur Verfügung zu stellenden Daten gehören auch Informationen über die nach § 21 zugelassenen Vorhaben“ (STANDAG 2017).

So hat das LBGR der BGE zur Ermittlung der Teilgebiete im Zeitraum 2018 bis 2019 angeforderte und nachfolgend gelistete Daten zu Brandenburg übergeben: Nachweisdaten und digital vorhandene Schichtenverzeichnisse als Fachdaten von Tiefbohrungen (aus der Erdöl- und Erdgaserkundung, der Geothermie und zu hydrogeologischen Bohrungen, zu Untergrundspeichern und zur Rohstofferkundung), stratigraphische Tabellen, 3D-Modell geologischer Untergrund, Geologische Karte 1:50 000, Hydrogeologische Karte 1:50 000, Daten zu (neo-)tektonischem

Bewegungsverhalten, Einwirkungsbereiche Altbergbau, Geltungsbereiche von Rahmen- und Hauptbetriebsplänen sowie hydrodynamisch beeinflusste Bereiche von Untergrundspeichern.

Nach § 21 StandAG sind „Gebiete, die als bestmöglich sicherer Standort für die Endlagerung in Betracht kommen, [...] vor Veränderung zu schützen, die ihre Eignung als Endlagerstandort beeinträchtigen können.“ Demnach erarbeitet das LBGR ferner geologische Fachstellungen bei Anträgen Dritter auf Zulassung von Vorhaben in Teufen von mehr als 100 Metern. Vor Veröffentlichung der Teilgebiete enthielten diese Stellungnahmen ähnlich der laufenden Untersuchung der BGE eine Bewertung der Mindestanforderungen, Ausschlusskriterien und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien, konkret war also das mögliche Vorhandensein von Wirtsgesteinen zu prüfen. Mit Veröffentlichung der Teilgebiete und Anpassung des § 21 StandAG haben die Fachstellungen nunmehr Aussagen zur Fragestellung zu treffen, ob durch die Vorhaben Gesteinsschichten erheblich geschädigt werden können, „die einen langfristigen Schutz darunterliegender, für die Endlagerung geeigneter Schichten bewirken können oder die langfristig im Sinne einer zusätzlichen Barriere für das Endlager wirken können“ (STANDAG 2017).

Vor dem Hintergrund der erforderlichen Fachdiskussionen bringen sich die Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) der Länder und damit auch das LBGR darüber hinaus ein.

So wurde durch das LBGR sowohl eine Fachstellungnahme zum Teilgebietsbericht, LBGR (2021), als auch zum Konzept und der Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen vorgelegt, LBGR (2022).

Im Land Brandenburg ist Mitte 2020 auf Initiative des Ministeriums für Soziales, Gesundheit, Integration und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg (MSGIV) eine ressortübergreifende Fach-Arbeitsgruppe bestehend aus dem MSGIV, dem Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (MLUK), dem Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie (MWAE) und dem LBGR zur Begleitung des Standortauswahlverfahrens installiert worden, die sich regelmäßig bzw. anlassbezogen zu den jeweiligen Ständen und Entwicklungen des Auswahlverfahrens offen und konstruktiv austauscht.

3 Wirtsgesteine

Mit dem Zweck des StandAG wurde festgelegt, dass in Deutschland die drei Wirtsgesteine Tongestein, Steinsalz und Kristallingestein in Betracht zu ziehen sind. Das Wirtsgestein soll Eigenschaften aufweisen, die eine Ausbreitung von radioaktiven Stoffen (Radionuklide) möglichst dauerhaft verhindern. Zudem muss es hohen Temperaturen widerste-

hen, ohne seine Rückhaltefähigkeit nach Abkühlung zu verlieren und es sollte möglichst wenig durchlässig für Wasser oder Gas sein. Tabelle 1 fasst nach BGE (2020) zusammen, in welcher Form die BGE die drei Wirtsgesteine einstuft. Dies entspricht grundsätzlich dem Stand des Wissens.

4 Zum Ergebnis Phase I, Schritte 1: Teilgebiete im Land Brandenburg

Die Wirtsgesteine waren wesentlicher Untersuchungsgegenstand der BGE bei der Ermittlung der Teilgebiete. Konkret waren die §§ 22 bis 24 StandAG anzuwenden, d. h. es erfolgte die konkrete Prüfung zuerst auf das Vorhandensein von Ausschlusskriterien, dann die Erfüllung der Mindestanforderungen und schließlich die Anwendung geowissenschaftlicher Abwägungskriterien in Deutschland auf der Basis einer weißen Landkarte. Die Datenbasis für die Auswertung durch die BGE bildeten die bis zum Stichtag 01.06.2022 aus Bundes- und Landesbehörden auf Grundlage § 35 GeolDG zu liefernden Daten über den tiefen geologischen Untergrund. So hat das LBGR zum Beispiel das dreidimensionale geologische Landesmodell übergeben, aber auch geologische Karten des Landes und eine Vielzahl von Bohrungsinformationen aus dem Bereich des Bergbaus, insbesondere der Erdöl- und Erdgaserkundung und -förderung.

Wirtsgestein	Beschreibung	Eigenschaften	
		Günstig	Weniger günstig
Tongestein	Sedimentgestein aus magmatischen, metamorphen oder schon existierenden Sedimentgesteinen durch Verwitterung entstanden, Korngröße < 0,002 mm	besondere Eignung als langfristige geologische Barriere, da geringe Durchlässigkeit gegenüber Gasen und Flüssigkeiten, hohes Rückhaltevermögen für Radionuklide	irreversibler Verlust des Rückhaltevermögens bei zu hohen Temperaturen
Salzgestein	Sedimentgestein durch Verdunstung von Meerwasser entstanden, sowohl in ursprünglicher (stratiformer) Lagerung als auch in Form von Salzstöcken (steile Lagerung)	plastische Eigenschaft (Fähigkeit Bewegungen des umgebenden Gebirges ohne zu brechen auszuhalten) und hydraulisch dicht (undurchlässig gegenüber Gasen und Flüssigkeiten)	hohe Wasserlöslichkeit und geringes Rückhaltevermögens bei zu hohen Temperaturen
Kristallingestein	Magmatische und Metamorphe Gesteine, keine Vulkanite	hohe Festigkeiten, geringe Wasserlöslichkeit und hohe Temperaturbelastbarkeit mit Blick auf die Nachzerfallswärme, die von den Endlagergebinden ausgeht	Mikrorisse, Kluffnetze setzen günstige Eigenschaften herab

Tab. 1: Übersicht betrachteter Wirtsgesteine im Standortauswahlverfahren nach StandAG in Deutschland.
Quelle: BGE (2020)

Tab. 1: Overview of considered host rocks in the site selection procedure according to StandAG in Germany.
Source: BGE (2020)

Das Ergebnis der Untersuchungen ist im Zwischenbericht Teilgebiete veröffentlicht worden, BGE (2020). Der Zwischenbericht benennt 90 Teilgebiete, davon liegen von allen betrachteten Wirtsgesteinen 17 Teilgebiete vollständig oder teilweise in Brandenburg (Abb. 3). In seiner fachlichen Stellungnahme zum Zwischenbericht Teilgebiete empfiehlt das LBGR neun Gebiete auszuschließen, sieben Gebiete zu modifizieren und stuft nur ein Gebiet als plausibel ausgewiesen ein (LBGR 2021). Dies sei anhand dreier charakteristischer Beispiele auszugsweise aus der Stellungnahme LBGR (2021) zusammengefasst.

- Empfehlung des Ausschlusses für ein Teilgebiet auf Grundlage vorhandener und übergebener Daten und Interpretationen: „Das Teilgebiet 015_00TG_001_00IG_S_s_z befindet sich in der stratigraphischen Einheit Zechstein mit dem Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung in der Salzstruktur Wulkow. [...] Für dieses Gebiet liegen aus der Bohrung E WuvNn 1/54 Informationen zur Lage der Quartär-

basis und über eine Fehlstelle im Rupelton vor. Aus [...] seismischen Profilen LI20, LI11 und LI12 [...] ist auf das Vorhandensein von Störungen zu schließen.

Der Salzstocktop des identifizierten Gebietes weist eine Mindesttiefe von ca. 310 m auf und verfügt über keine vollständige Überdeckung durch Gesteine des Tertiärs. [...] Des Weiteren zeigen geologische Karten zur Verbreitung der Rupel-Folge in Brandenburg [...], dass am Top der Salzstruktur die Rupel-Folge als wichtigster grundwasserstauender Horizont für Brandenburg nicht vorhanden ist bzw. durch den Aufstieg des Salzdiapirs erodiert wurde. Die Karte ohne quartäre Bildungen [...] zeigt, dass der Salzdiapir Wulkow in direktem Kontakt mit der Quartärbasisfläche steht, also von einer Exposition gegenüber dem süßwasserführenden Grundwasserstockwerk auszugehen ist.

Die gebietsspezifischen Indikatoren der Anlage 11 (zu § 24 Abs. 5 StandAG) Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“ und „Überdeckung

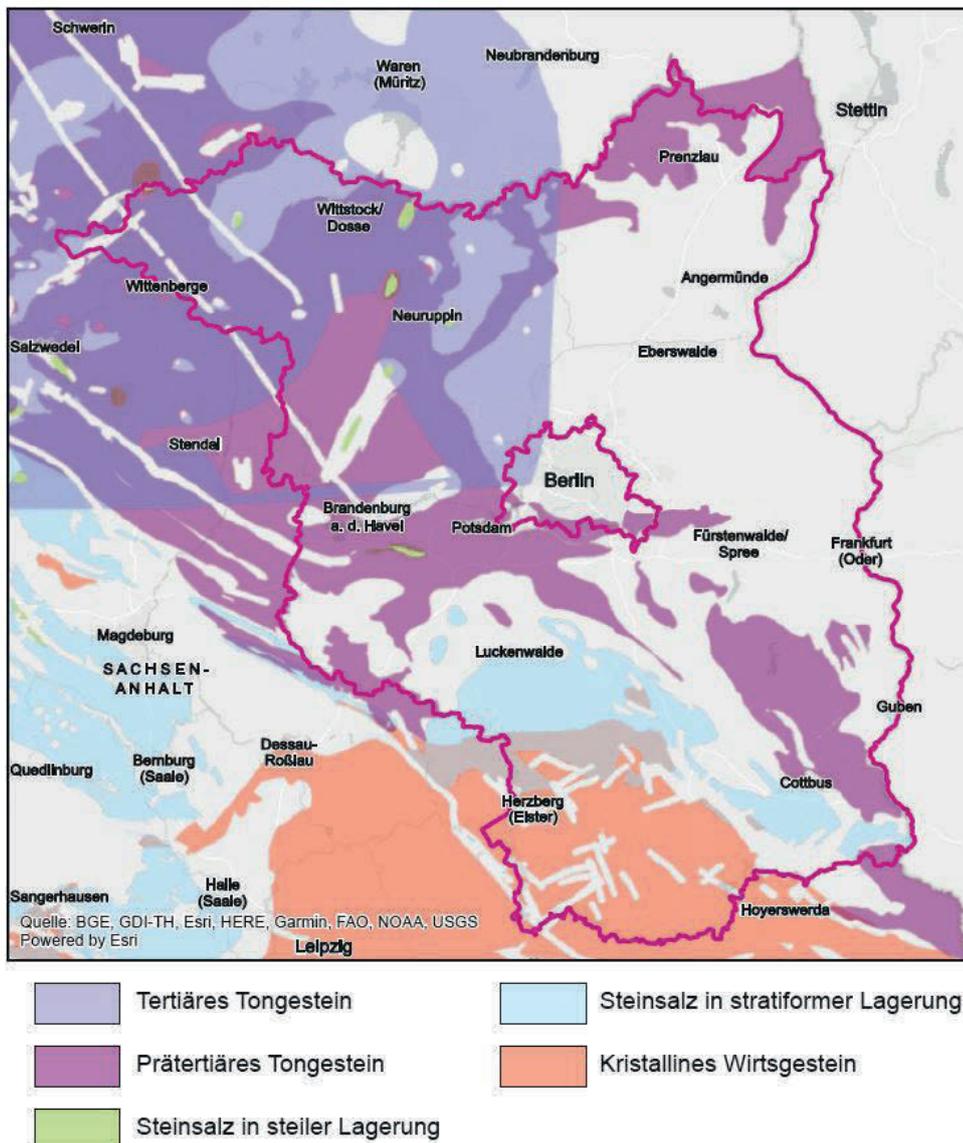


Abb. 3: Übersichtskarte der Verbreitung der Teilgebiete in Brandenburg. Quelle: BGE (2020)

Fig. 3: General map of the distribution of the sub-areas in Brandenburg. Source: BGE (2020)

des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen, Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge“ wurden bei der Ausweisung des Teilgebiets unzutreffend bewertet. Die Erfüllung der eingangs diskutierten Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG im Falle einer Exposition gegenüber dem süßwasserführenden Grundwasserstockwerk ist zu bezweifeln. Es wird empfohlen, das Teilgebiet 015_00TG_001_00IG_S_s_z auszuschließen.“

- Empfehlung der Modifizierung eines Teilgebietes auf Grundlage vertiefter regionalgeologischer Kenntnisse: Beispiel 007_00TG_202_00IG_T_f_kru, Tongestein Unterkreide, Anteil Brandenburg: „Das Gebiet der brackisch-marinen Pelite und Sande erfüllt nach derzeitigem Kenntnisstand die Mindestanforderungen nach § 23 Abs. 5 Nr. 2 StandAG. Die Teilfläche wurde gemäß § 24 StandAG als plausibel bewertet. Nach derzeitigem Kenntnisstand erfüllen die Gebiete nördlich mit ihren Sanden und Schluffen sowie südlich mit ihren brackisch-marinen Peliten und Kalken die Mindestanforderungen nach § 23 Abs. 5 Nr. 2 StandAG nicht. Die Teilflächen wurden im Rahmen von § 24 StandAG als nicht plausibel bewertet. Es wird empfohlen, den nördlichen und südlichen Bereich auszuschließen und das ausgewiesene Teilgebiet 007_00TG_202_02IG_T_f_kru um ca. 40 % zu verkleinern. Die verbleibende Teilfläche sollte weiter untersucht werden.“
- Plausible Bewertung für 006_00TG_188_00IG_T_f_ju, Tongestein Unterjura, Anteil Brandenburg: „Die Teilflächen im Teilgebiet 006_00TG_188_00IG_T_f_ju erfüllen nach derzeitigem Kenntnisstand die Mindestanforderungen gemäß § 23 Abs. 5 Nr. 2 StandAG und werden im Rahmen von § 24 StandAG als plausibel bewertet. Die ausgewiesenen Teilflächen des Teilgebiets sind jedoch weiter zu untersuchen.“

Die fachliche Einordnung der BGE hierzu dokumentiert bei den vorhandenen Teilgebieten sowohl Fälle, in denen Übereinstimmung mit der Stellungnahme des LBGR konstatiert wird, als auch Fälle, in denen keine oder nur teilweise Übereinstimmung besteht. Bei Übereinstimmung erfolgte der Hinweis, dass die in den Stellungnahmen getroffenen Empfehlungen bei der Ermittlung der Standortregionen berücksichtigt werden sollen.

5 Zum Arbeitsstand Phase I, Schritt 2: Methodenentwicklung für die repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen am Gebiet zur Methodenentwicklung (GzME) Saxothuringikum (Anteil Brandenburg)

Die Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle nach StandAG befindet sich weiterhin in Schritt 2 der Phase I von III (Ermittlung von Standortregionen für die übertägige Erkundung nach § 14 StandAG). Die BGE ermittelt die Standortregionen mit den

drei wesentlichen Eingrenzungs- und Bewertungsinstrumenten:

- Repräsentative vorläufige Sicherheitsuntersuchungen (rvSU)
- Geowissenschaftliche Abwägungskriterien (geoWK)
- Planungswissenschaftliche Abwägungskriterien (planWK)

Die BGE hat zur Methodenentwicklung der rvSU am 25.03.2022 eine digitale Informationsveranstaltung für die Umweltministerien der Länder und SGD aller Länder, in deren Zuständigkeitsbereich die Gebiete zur Methodenentwicklung (GzME) liegen, durchgeführt und am 28.03.2022 ihren Methodenvorschlag für die Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (rvSU) öffentlich vorgestellt. Dieser Methodenvorschlag wurde auf der Internetseite der BGE zusammen mit den hierzu eingegangenen Stellungnahmen und Gutachten veröffentlicht.

Im Rahmen der genannten Veranstaltungen wurden auch die Geologischen Dienste über die Möglichkeit zur Stellungnahme informiert, von der diese wiederum auch entsprechend Gebrauch gemacht haben. Es bleibt eine Herausforderung, da derartige Stellungnahmen in dieser Phase der Standortsuche im StandAG nicht geregelt sind (siehe auch Teil 2 Beteiligungsverfahren §§ 5 bis 11 StandAG). Der Geologische Dienst (SGD) im LBGR des Landes Brandenburg hat daher im Sinne eines Fachaustausches auch diese Unterlagen geprüft und hierzu Stellung genommen (LBGR 2022). Die Dokumente der Methodenentwicklung erfassen in dieser Phase des Standortauswahlverfahrens eine überwiegende Anzahl von nicht geowissenschaftlichen Themen. Der Fokus der Stellungnahme des LBGR richtet sich dagegen auf die Geologie (Geosynthese) und das Teilgebiet Saxothuringikum als Gebiet zur Methodenentwicklung (GzME), Anteil Brandenburg.

Wie oben dargestellt, wurden für das Land Brandenburg durch die BGE 17 Teilgebiete ausgewiesen, in dem alle Wirtsgesteine vertreten sind. Die von der BGE vorgelegten Dokumente wurden hinsichtlich der anderen Wirtsgesteine (Ton, Steinsalz in steiler und flacher Lagerung) durch das LBGR nicht genauer begutachtet, weil das die Aufgabe der BGE gemäß StandAG ist.

Hinsichtlich der Geosynthese kommt das LBGR (2022) im Wesentlichen zu folgender Einschätzung: „Die Erläuterung der Geosynthese fasst die geologisch/geowissenschaftliche Arbeitsweise einer Kartierung mit besonderer Zielstellung passend zusammen. Dem LBGR und damit dem Geologischen Dienst ist diese Arbeitsweise ohnehin eigen. Es wird erwartet, dass die zugehörige Dokumentation fachlich sehr vertieft sein muss. Die Ausweisung von sogenannten Teiluntersuchungsräumen entspricht der geologisch-fachlichen Arbeitsweise der Ausweisung von regionalgeologischen Modellen. Es wird explizit darauf verwiesen, dass lt. § 8

GeolDG geologische Untersuchungen anzuzeigen sind. Dazu gehören auch Neubearbeitungen öffentlich bereitgestellter Fachdaten und Bewertungsdaten. Dem LBGR liegt bisher keine derartige Anzeige zum GzME Saxothuringikum, Anteil Land Brandenburg vor.“

Für das GzME Saxothuringikum, Anteil Brandenburg ist in den Konzepten der BGE dargestellt, dass hier eine Kategorisierung in „ungünstig“ und damit im weiteren Verfahren nicht mehr zu berücksichtigen ist. Dies entspricht der Empfehlung des LBGR, diesen Bereich auszuschließen.

6 Fachliche Stellungnahmen im Rahmen §21 StandAG „Sicherungsvorschriften“

In § 21 StandAG sind die so genannten Sicherungsvorschriften lt. Abs. 1 wie folgt geregelt: „Gebiete, die als bestmöglich sicherer Standort für die Endlagerung in Betracht kommen, sind vor Veränderungen zu schützen, die ihre Eignung als Endlagerstandort beeinträchtigen können. Der Schutz erfolgt nach Maßgabe der Absätze 2 bis 4. Der 12 Absatz 1 Satz 41 bleibt unberührt.“

Entsprechend dürfen nach § 21 Abs. 2 Anträge Dritter auf Zulassung eines Vorhabens in Teufen von mehr als 100 Metern nur unter bestimmten Bedingungen zugelassen werden. Die Abbildung 4 stellt die zugehörigen Prozesse für Vorhabenträger dar, siehe BASE (2020).

Die Anwendung des § 21 StandAG beinhaltet bis zur Veröffentlichung des Teilgebietsberichts der BGE im LBGR bei der Zulassungsprüfung von Vorhaben von mehr als 100 Metern Tiefe nach den Bestimmungen des Bundesberggesetzes (BBergG) oder sonstigen Rechtsvorschriften die Prüfung nach § 21 Abs. 2 unter Berücksichtigung der Anwendung der §§ 22, 23 und 24 (Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen, geowissenschaftliche Abwägungskriterien).

Mit Veröffentlichung des Zwischenberichtes Teilgebiete am 20.09.2020 durch die Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) als Vorhabenträger gilt die Anwendung Abs. 3, d. h., es ist die Prüfung nach Abs. 2 nur für Vorhaben tiefer 100 Meter zu prüfen, die sich in einem identifizierten Teilgebiet befinden. Die BGE bzw. das BASE hat bisher keine Standortregionen festgelegt und damit keine zu schützenden Gebiete bekannt gegeben, insofern ist Abs. 2 zunächst grundsätzlich weiterhin anzuwenden, allerdings wegen Abs. 3 ohne Prüfung der Gesteinsformation. Damit entfallen die Prüfungen nach § 22 bis 24.

Im LBGR betreffen die im Allgemeinen im Rahmen von § 21 StandAG zu betrachtenden Vorhaben Bohrungen von 100 Metern bis 200 Metern Endteufe. Konkret ist bei Antragstellung bzw. bei Anzeigen von Bohrungen tiefer als 100 Meter demnach zuerst zu prüfen, ob die Bohrung in einem identifizierten Teilgebiet liegt und zweitens, wenn ja, ob die Bohrung(en) oder „[...] die mit dieser Bohrung in

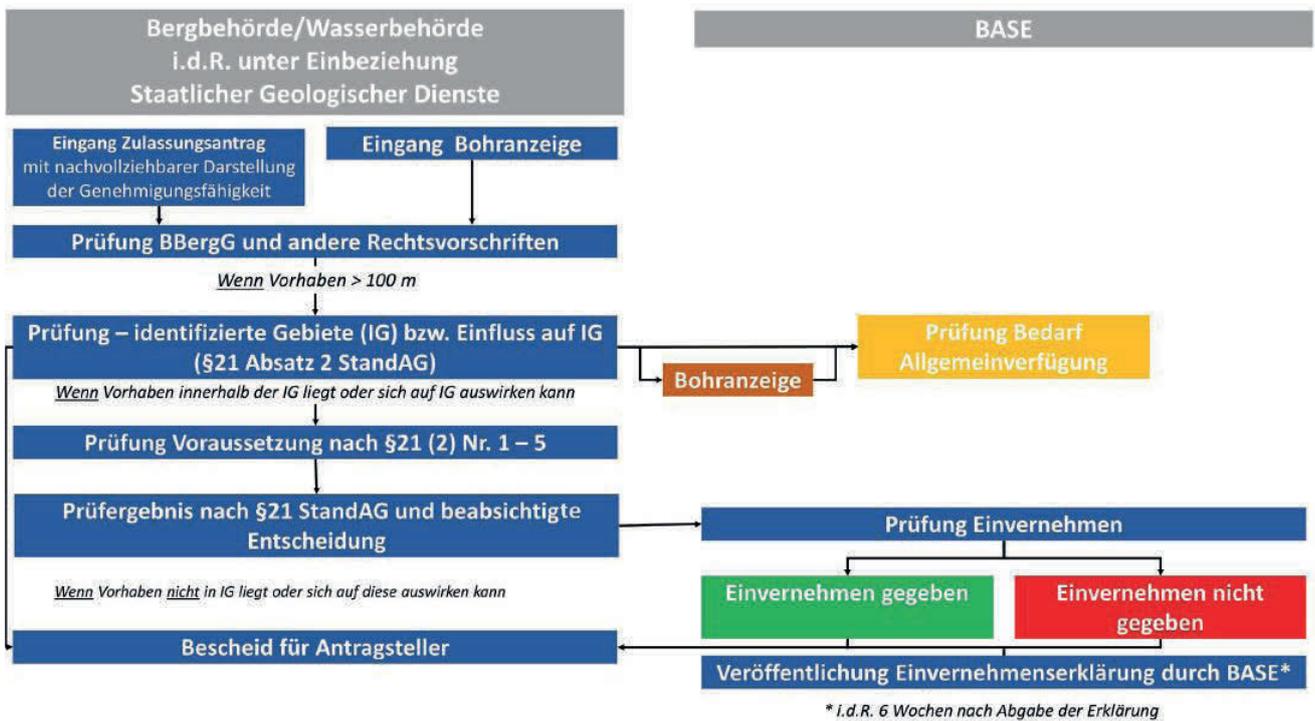


Abb. 4: Prozesse bei Anträgen Dritter auf Zulassung eines Vorhabens in Teufen von mehr als 100 Metern nach § 21 StandAG, Quelle BASE (2020)

Fig. 4: Processes for third-party applications for approval of a project at depths of more than 100 meters in accordance with Section 21 StandAG, source BASE (2020)

Verbindung stehenden Maßnahmen keine Gesteinsschichten erheblich geschädigt werden können, die einen langfristigen Schutz darunterliegender, für die Endlagerung geeigneter Schichten bewirken können oder die langfristig im Sinne einer zusätzlichen Barriere für das Endlager wirken können“, StandAG (2017). Und weiter ist zu prüfen, ob die Bohrung „in Fällen, in denen am Ort des beabsichtigten Vorhabens in einer Teufe von 300 bis 1 500 Metern unter Geländeoberkante stratiforme Steinsalzformationen von mindestens 100 Metern Mächtigkeit oder Salzformationen in steiler Lagerung mit einer vertikalen Ausdehnung von mindestens 100 Metern vorhanden sind, der Salzspiegel unterhalb von 400 Metern unter Geländeoberkante liegt oder bei einem höheren Salzspiegel durch die Bohrung und die mit dieser Bohrung in Verbindung stehenden Maßnahmen die Salzformation nicht geschädigt wird und keine wesentliche Beeinflussung des Grundwassers im Bereich von 50 Metern über der höchsten Stelle des Salzspiegels verursacht werden kann“ StandAG (2017).

Die Anwendung von StandAG § 21 Absatz 2 Nummer 4 erfordert im SGD des LBGR im Wesentlichen die Kenntnis über mögliche, über dem als Barriere wirkenden Wirtsgestein vorhandene zusätzliche Barriere-Schichten. Bei einer Teufe zwischen 100 und 300 m befinden sich diese in Brandenburg zumeist im Känozoikum und betreffen in diesem Teufenbereich oft die sowohl vertikal als auch horizontal lithologisch heterogene Rupelton-Formation, aber auch Schmelzwasserablagerungen tiefer Quartärrinnen. In Ost-Brandenburg werden in der Rupelton-Formation die Tone bis Tonmergel zum Hangenden zunehmend von Schluffen und Sanden, ähnlich wie im Mitteldeutschen Braunkohlenrevier (Leipzig) über dem Phosphoritknollen-Horizont, faziell vertreten. Gerade die Quartärrinnen können auf kurzer Distanz eine lithologische Änderung ihrer Füllung aufweisen. Detaillierte Kenntnisse über zusätzliche Barrieren liegen im LBGR nicht vor und werden für konkret zu beurteilende Standorte erst erarbeitet.

Bisher hat das BASE für alle Vorhaben das Einvernehmen hergestellt.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Das Standortauswahlverfahren zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle ist gesetzlich geregelt im StandAG. Zentraler Akteur für die Suche eines solchen Endlagers in Deutschland ist die BGE. Sie ist Vorhabenträgerin und zuständig für das operative Geschäft mit Vorschlägen zur Auswahl der Standortregionen und der zu erkundenden Standorte. Sie erstellt standortbezogene Erkundungsprogramme und Prüfkriterien und führt die Erkundung durch. Verschiedene Instanzen sorgen für ein ergebnisoffenes, transparentes, nach gesetzlich festgelegten fachlichen Kriterien und unter Beteiligung der Öffentlichkeit durchgeführtes Verfahren. Das LBGR nimmt seine Aufgaben im Rahmen der

Einvernehmensverfahren nach § 21 StandAG, der Datenbereitstellung nach § 12 StandAG und § 35 GeoldG wahr und erarbeitet im Rahmen der Fachdiskussion weitere Stellungnahmen.

In Schritt 1 von Phase I wurden durch die BGE potentiell geeignete Teilgebiete ermittelt und im September 2020 im Zwischenbericht Teilgebiete veröffentlicht. Von insgesamt 90 Teilgebieten deutschlandweit entfallen vollständig oder anteilsweise 17 Teilgebiete auf das Land Brandenburg. Aktuell befindet sich die Standortsuche in Schritt 2 von Phase I, die dann mit der Feststellung der Standortregionen für die übertägige Erkundung endet. Laut Gesetz wird die Festlegung eines Standortes für das Jahr 2031 angestrebt. Die BGE hat bisher keinen Zeitplan zum Abschluss der Phase I vorgelegt.

Literatur

STANDAG: Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1 074), Stand: Zuletzt geändert durch Art. 1 G v. 7.12.2020 I 2760 (BGBl. I S. 2760)

GEOLDG: Gesetz zur staatlichen geologischen Landesaufnahme sowie zur Übermittlung, Sicherung und öffentlichen Bereitstellung geologischer Daten und zur Zurverfügungstellung geologischer Daten zur Erfüllung öffentlicher Aufgaben (Geologiedatengesetz – GeoldG), Stand: 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1387), ersetzt G 750-1 v. 4.12.1934 I 1223 (LagerstG) und V 750-1-1 v. 14.12.1934 I 1261 (LagerstGDV)

BASE 2020: Verfahrensabläufe zum Vollzug des § 21 Absatz 2 Standortauswahlgesetz (StandAG) und Auslegungshilfe für die unbestimmten Rechtsbegriffe in den Ausnahmetatbeständen des § 21 Absatz 2 Satz 1 Nr. 1–5 StandAG, Stand: Dezember 2020, Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung – Projektgruppe Standortsicherung nach § 21 StandAG. – URL: https://www.endlagersucheinfoplatzform.de/SharedDocs/Downloads/Endlagersuche/DE/Fachinfo/Standortsicherung/Auslegungshilfe_2.pdf?__blob=publicationFile&v=3

BGE (2020): Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG, Stand 28.09.2020. – URL: https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Zwischenbericht_Teilgebiete/Zwischenbericht_Teilgebiete_barrierefrei.pdf

BGE (2021): Fachliche Einordnung zur Stellungnahme des Brandenburger Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe (LBGR) zum Zwischenbericht Teilgebiete der BGE vom 28.09.2020, Stand 29.07.2021. – URL: https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Fachdiskussionen/Stellungnahmen/Fachstellungen/Einordnung_der_BGE_zur_Stellungnahme_LBGR_barrierefrei.pdf

BGE (2022A): Konzept zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung, Stand 28.03.2022. – URL: https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Methodik/Phase_I_Schritt_2/rvSU-Methodik/20220328_Konzept_zur_Durchfuehrung_der_rvSU_barrierefrei.pdf

BGE (2022B): Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung, Stand 28.03.2022. – URL: https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Methodik/Phase_I_Schritt_2/rvSU-Methodik/20220328_Anlage_zu_rvSU_Konzept_Methodenbeschreibung_barrierefrei.pdf

BGE (2022C): Endlagersuche in Deutschland, Veranstaltung der BI Eitzendorf, 23.06.2022. – URL: https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/07_-_Vortraege/Vortraege_Schritt_2_Phase_1/20220623_BI_Eitzendorf_final_barrierefrei.pdf

BGR (2007): Endlagerung radioaktiver Abfälle in Deutschland - Untersuchung und Bewertung von Regionen mit potenziell geeigneten Wirtsgesteinsformationen, Hannover/Berlin, April 2007. – URL: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Downloads/Charakterisierung_Wirtsgesteine_geotech_Barrieren/4_Wirtsgesteinsuebergreifend/2007-04-00_BGR_wirtsgest_dtl.pdf?__blob=publicationFile&v=4

LBGR (2021): BGE – Zwischenbericht Teilgebiete (28.09.2020), Stellungnahme des Staatlichen Geologischen Dienstes von Brandenburg vom 01.06.2021. – URL: https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Fachdiskussionen/Stellungnahmen/Fachstellungennahmen/2021-06-01_Stellungnahme_LBGR_Zwischenbericht_Teilgebiete__Anlage_zu_Anschreiben_vom_01.06.2021_barrierefrei.pdf

LBGR (2022): Konzept und Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß EndlSiUntV, 28.03.2022, Fachliche Stellungnahme vom 13.06.2022 des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, Abteilung Geologischer Dienst. – URL: https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Fachdiskussionen/Stellungnahmen/Fachstellungennahmen/Stellungnahmen_zur_rvSU/20220613_Fachliche_Stellungnahme_LBGR_Konzept_u._Methode_rvSU_geschwaerzt_nicht_barrierefrei.pdf

NBG (2022): Nationales Begleitgremium – Für ein faires Verfahren. – URL: https://www.nationales-begleitgremium.de/DE/Home/home_node.htmlNBG

Anschrift der Autoren

Dr. Birgit Futterer
Dr. Thomas Höding

Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg
Abteilung Geologischer Dienst
Inselstraße 26
03046 Cottbus

birgit.futterer@lbgr.brandenburg.de
thomas.hoeding@lbgr.brandenburg.de

Brandenburg. Geowiss. Beitr.	Cottbus	Bd. 29/2022	S. 37–45	6 Abb., 2 Tab., 3 Zit.
------------------------------	---------	-------------	----------	------------------------

Langzeiterfahrungen zu Boden- und Grundwassersanierungen in Berlin

Long-term experience of soil and groundwater remediations in Berlin

ANDREAS ZIMMERMANN & FRANK RAUCH

1 Einführung

Die seit Beginn der 90er Jahre im Ostberliner Stadtgebiet laufende Bearbeitung von Altlastenstandorten umfasst eine Vielzahl von Boden- und Grundwasserkontaminationen. Mit seiner Gemengelage von Wohngebieten und Industriestandorten sowie den flächigen Schadstoffbelastungen des oberen unbedeckten und wasserwirtschaftlich genutzten Grundwasserleiters im Einzugsgebiet zweier Wasserwerke weist dieser Stadtbereich aus Altlastensicht deutschlandweit ein Alleinstellungsmerkmal auf. Dies spiegelt sich sowohl in dem komplexen Schadstoffinventar als auch in der sensiblen Schutzgütersituation und den damit einhergehenden Anforderungen an qualifizierte Altlastenmaßnahmen wider.

Nach einem jahrzehntelangen Bearbeitungszeitraum zielt dieser Beitrag auf Schlussfolgerungen und Erkenntnisse, die sich aus den zahlreichen Erkundungs-, Sanierungs- und Sicherungsmaßnahmen für die Projektbeteiligten ergeben haben. Auch wenn sich bei näherer Betrachtung der Altlastenprojekte die Binsenweisheit bestätigt, dass jeder Fall seine spezifischen Merkmale aufweist und damit keine generalisierte oder pauschale Routinebearbeitung zulässt, konnten aus den Erfahrungen der unterschiedlich erfolgreichen Erkundungs- und Sanierungsmaßnahmen wichtige Erkenntnisse gewonnen werden, die aus Sicht der Autoren von allgemeinem Interesse für die in der Altlastenpraxis tätigen Institutionen und Fachbüros sind.

Dabei ist von Vorteil, dass die Bearbeitung der insgesamt 147 Altlastenprojekte von Beginn an (1992/93) von einem stabilen Kreis von Fachexperten in der zuständigen Behörde und auf der Bundeseite erfolgt (Projektgruppe Berlin). Dies ist insbesondere der Bearbeitungsstruktur im Rahmen des Verwaltungsabkommens (VA-Altlasten) geschuldet. Auf dieser Grundlage erfolgte die Finanzierung für die von der Treuhandanstalt (THA) und ihrem Rechtsnachfolger, der Bundesanstalt für vereinigungsbedingte Sonderaufgaben (BvS) privatisierten schadstoffbehafteten Grundstücke zwischen dem Bund und den neuen Ländern im Verhältnis 60:40 (Regelfälle) bzw. 75:25 (Ökologische Großprojek-

te, ÖGP). Damit mussten die Entscheidungen zum Inhalt und Umfang der Altlastenmaßnahmen einvernehmlich zwischen den Vertretern der Berliner Freistellungs- und Ordnungsbehörde sowie den Bevollmächtigten des Bundes getroffen werden.

Insoweit obliegt der Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz Berlin als Freistellungs- und Bodenschutzbehörde sowohl die fachtechnisch-ordnungsrechtliche als auch die finanzierungsseitige Verantwortung für die freistellungsrelevanten Objekte in den Ostberliner Stadtbezirken sowie in Berlin-Staaken. Für den Bund (BMF) haben seit den 90er Jahren die Mitarbeiter der GESA mbH die Altlastenbearbeitung im Rahmen des Verwaltungsabkommens für die Treuhandanstalt und danach für die BvS wahrgenommen. Als eine der Treuhand-Nachfolgegesellschaften hat die GESA mbH die Altlastenverpflichtungen der THA/BvS geschäftsbesorgend übernommen und führt das Vertrags- und Freistellungsmanagement nach Übertragung von der BvS auf die Bundesanstalt für Immobilienaufgaben (BImA) seit 2014 als Tochtergesellschaft der BImA fort. Insoweit nimmt seitens der GESA mbH ein konstanter Mitarbeiterstamm seit über 25 Jahren die Aufgaben des VA-Altlasten im Land Berlin wahr und gewährleistet damit eine kontinuierliche gemeinsame Bearbeitung mit den Verantwortlichen der Berliner Senatsverwaltung. Diese Zusammenarbeit, die aufgrund der differenzierten Interessenlagen auch mit kontroversen Sichtweisen behaftet ist, halten die Autoren für zweckmäßig und wirtschaftlich, da die gebotenen einvernehmlichen Lösungen sowohl eine hinreichende Berücksichtigung der ordnungsbehördlichen Regelungen und Verfahren als auch der finanzierungsseitig dominierten Interessen des Bundes erfordern.

2 Ausgangssituation und Randbedingungen

Die ungefähre Lage der für diesen Beitrag ausgewerteten Altlastenflächen kann der Skizze des Berliner Stadtplans (Abb. 1) entnommen werden.

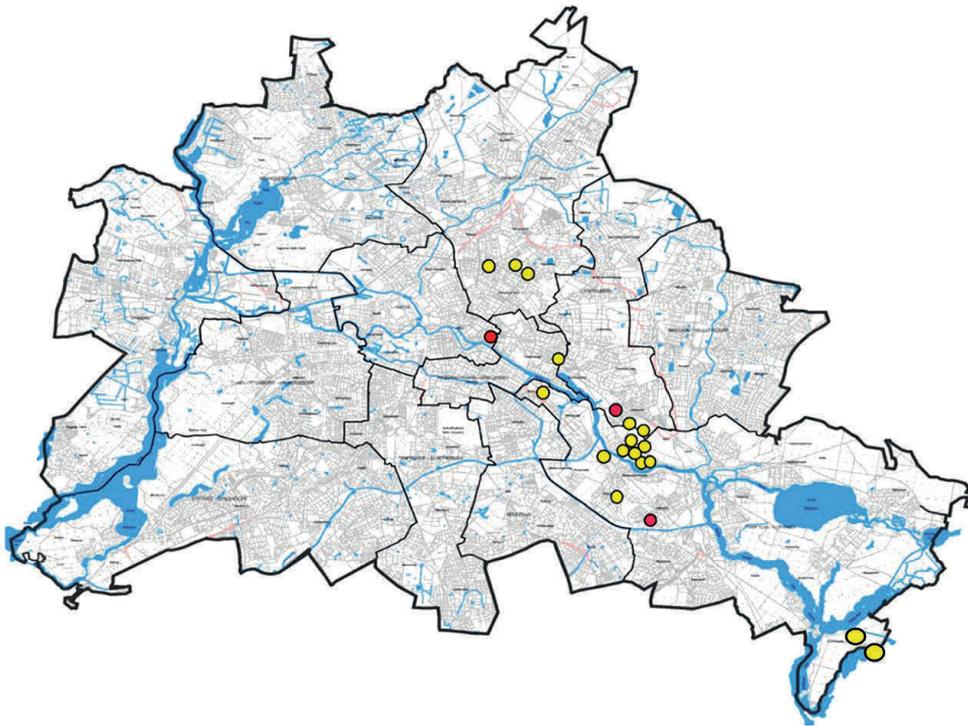


Abb. 1:
Lage der VA-Altlastenflächen
im Ostberliner Stadtgebiet
(generalisierte Darstellung)

Fig. 1: Position of the
described contaminated
sites in the former area
of East Berlin
(generalized representation)

Die Geologie und Hydrogeologie im Projektgebiet wird von quartären Ablagerungen im Berliner Urstromtal und der Weichsel-glazial geprägten Barnim-Hochfläche charakterisiert. Das Urstromtal weist einen oberen unbedeckten, meist mittelsandigen Grundwasserleiter Weichsel- und Saale-kaltzeitlichen Ursprungs auf, der an den Flanken von Weichsel-glazialen Geschiebemergel weitflächig umgeben ist und einen bis zu 60 m mächtigen oberen unbedeckten Grundwasserleiter bildet. Lokal ist der Aquifer von organischen sowie schluffigen Ablagerungen durchsetzt. Dieser mächtige ungespannte Grundwasserleiter wird in großen Teilen Berlins wasserwirtschaftlich genutzt und insoweit als Hauptgrundwasserleiter bezeichnet.

Die Barnim-Hochfläche zeichnet sich durch oberflächlich anstehende Geschiebemergel aus, in die lokal saisonal grundwasserführende Sande eingeschaltet sind. Im Liegenden folgen Weichsel- bis Saale-kaltzeitliche Sande, die in Teufen zwischen 10 und 40 m den örtlichen Hauptgrundwasserleiter bilden.

Als Schadstoffe treten im Grundwasser überwiegend LHKW/VC, BTEX, PAK, Cyanide und Arsen, lokal auch Phenole, COP, Chlorbenzole und Aniline auf. Im ungesättigten Boden überwiegen flächig Schwermetalle, Arsen, MKW und PAK. Bei einer Vielzahl von Grundstücken findet sich in den lokalen Schadstoff-Eintragsherden auch ein großes Reservoir an leichtflüchtigen organischen Kohlenwasserstoffen (LHKW, BTEX, Chlorbenzole), vor allem im Kapillarbereich und in tieferen Abschnitten der wasser gesättigten Bodenzone.

Der Wirkungspfad Boden-Grundwasser (Trinkwasser) im Einzugsbereich von zwei städtischen Wasserwerken im Berliner Urstromtal ist prägend für den behördlichen Handlungsbedarf und die Umsetzung nachhaltiger Gefahrenabwehrmaßnahmen.

Eine bisher untergeordnete, jedoch zunehmende Bedeutung kommt dem Wirkungspfad Boden-Mensch zu, da mittlerweile bei einer Vielzahl von industriellen Altlasten-Grundstücken Umwidmungen zur Wohnnutzung angestrebt und fortlaufend realisiert werden. Hier sind die im Berliner Stadtgebiet weitflächig verbreiteten anthropogenen Aufschüttungen, u. a. Kriegsschutt, von Bedeutung. Deren Schadstoffbelastungen – im Wesentlichen Schwermetalle und PAK – sind nur in geringem Maße eluierbar bzw. mobilisierbar und somit für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser kaum von relevanter Bedeutung.

3 Inhalt und Kosten der Altlastenmaßnahmen

Die Mittelaufwendungen der öffentlichen Hand (Bund/Land) für die Objekte im Rahmen des VA-Altlasten betragen bis zum Ende des letzten Jahrzehnts rd. 300 Mio. €. Davon entfallen auf das Ökologische Großprojekt rd. 230 Mio. € und auf die VA-Projekte im 60:40 Finanzierungsbereich rd. 70 Mio. €. Die jährliche Mittelinanspruchnahme ist mit ihren charakteristischen Schwankungen exemplarisch in Abb. 2 dargestellt.

Aus den Mittelabflüssen der einzelnen Jahre wird deutlich, dass die Maßnahmenumsetzung zyklisch erfolgt. Perioden

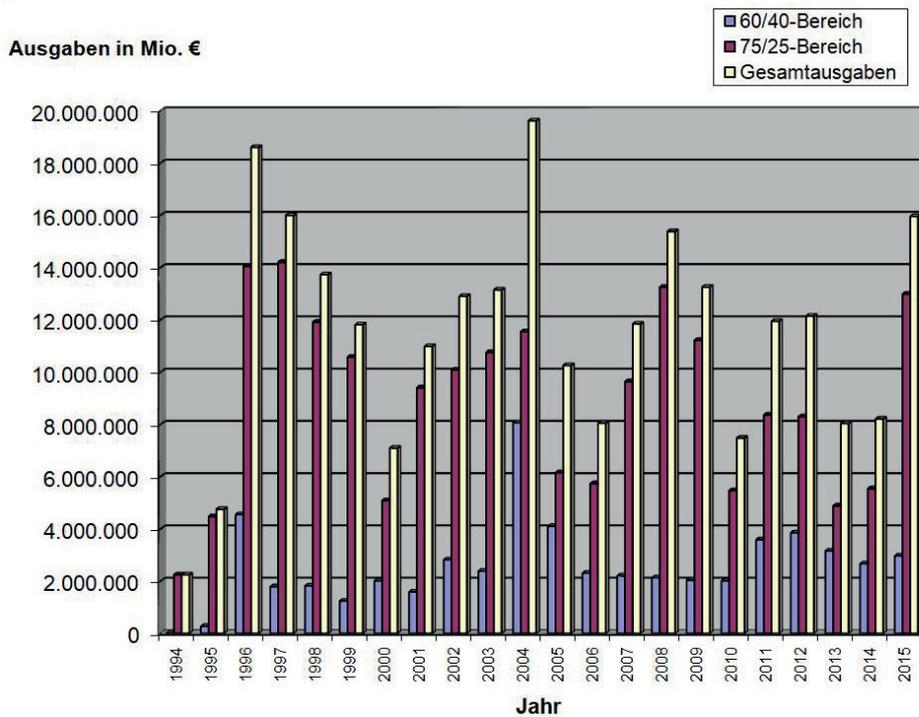


Abb. 2:
Mittelabfluss für Maßnahmen im Rahmen des VA-Altlasten in Berlin von 1994 bis 2015

Fig. 2:
Financial outflow for remediation measures on contaminated sites in Berlin from 1994 to 2015

mit hohem Mittelverbrauch, die insbesondere von einer Vielzahl von Schadstoffherdsanierungen mit Bodenaushub geprägt waren, wechseln mit Perioden geringerer Mittelanspruchnahme, in denen vorrangig Detail- und Sanierungsuntersuchungen sowie Planungen für die Sanierungsvorhaben erfolgten. Diese Kostenamplituden stellen hohe Anforderungen an die Finanzplanung und Mittelbereitstellung der öffentlichen Hand. Soweit die Verantwortlichen gleichzeitig mit einer Vielzahl von komplexen Altlastenfällen zu tun haben, zeigt diese Statistik, dass Prioritäten gesetzt werden müssen und mit dem fortschreitenden Erkenntnisgewinn aus laufenden Grundwassersanierungen weitere sanierungsbegleitende Erkundungsetappen und Anpassungsmaßnahmen einhergehen.

4 Fachliche Erkenntnisse der Altlastenbearbeitung

Aus dem umfangreichen Datenfundus der bearbeiteten Altlastenobjekte wurden von Land und Bund zahlreiche fachtechnische Erkenntnisse und Erfahrungen gewonnen, aus denen die Autoren folgende Thesen ableiten:

- Eine Sanierung von stofflichen Grundwasserschäden bis zum Erreichen der für das Land Berlin geltenden Prüfwerte der Berliner Liste oder gar der GFS (Geringfügigkeitsschwellenwerte nach LAWA) ist mit verhältnismäßigen Mitteln technisch schwer zu erzielen.
- Eine Vielzahl der Grundwasserschäden kann nicht allein mittels hydraulischer Maßnahmen, d. h. der Entnahme von gelösten Schadstofffrachten, sondern nur durch die systematische und detaillierte Erkundung und möglichst vollständige Beseitigung des Schadensherdes (Quelle)

im gesättigten Boden hinreichend dekontaminiert bzw. abschließend saniert werden.

- Laufende Grundwassersanierungen wurden ab dem Zeitpunkt, zu dem erkannt werden konnte, dass der erwartete Sanierungserfolg ausbleibt, von umfangreichen Untersuchungsprogrammen flankiert. Im Rückblick ist festzustellen, dass in vielen Fällen – meist nutzungsbedingt – erst im Ergebnis einer mehrjährigen Grundwassersanierung zielführende Untersuchungsprogramme zur Schadstoffverteilung in Grundwasser und Boden konzipiert und umgesetzt werden konnten, die dann in abschließenden erfolgreichen Sanierungsmaßnahmen mündeten.
- Eine erfolgreiche Sanierung der Grundwasserschäden konnte ausnahmslos nur mit der signifikanten Reduzierung der Schadstoffe im Boden mittels Bodenaushub erreicht werden. Die in den 90er Jahren teilweise vertretene Auffassung, bei Grundwasserschäden aus Kostengründen lediglich die gelöst verfügbaren Schadstoffanteile aus dem Grundwasserkörper mittels Pump & Treat zu entfernen, hat sich in der Mehrzahl der Fälle nicht als zielführend erwiesen.
- Neben der hydraulischen Sanierung und dem Bodenaustausch wurden keine weiteren Sanierungsmethoden im nennenswerten Umfang angewandt. Versuche, mittels innovativer in-situ-Methoden einen nachhaltigen Sanierungserfolg zu erzielen, schlugen weitgehend fehl. Somit ist bisher kaum ein Grundwasserschaden in Berlin maßgeblich mit in-situ Maßnahmen saniert worden.
- Aufgrund der Vielzahl von identifizierten Altlastenstandorten hat man bereits in den frühen 90er Jahren Prioritäten zur Abarbeitung der Altlastenproblematik gesetzt. Damit wurden die verfügbaren Bearbeitungska-

pazitäten (Finanzmittel, Personal) nicht ausschließlich auf den Abschluss der Erkundungsphasen für alle Standorte konzentriert, sondern je nach Erkenntnisfortschritt zur aktuellen und potentiellen Gefahrenlage hat man an definierten Altlastenstandorten sogenannte “vorgezogene Maßnahmen der Gefahrenabwehr” umgesetzt. Andere Verdachts- oder Schadensfälle wiederum wurden nach einer Erstbewertung erst 10–15 Jahre später, zumeist an reale Investitionsabsichten gekoppelt, abschließend bearbeitet.

- In Gebieten mit oberflächennah anstehenden Porengrundwasserleitern hat sich die Sickerwasserprognose gemäß BBodSchV zur Feststellung von gefahrenrelevanten Sachverhalten im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Grundwasser nicht als praxistauglich erwiesen. Zur Einschätzung der prognostischen Grundwassergefährdung der standortrelevanten Schadstoffe in der ungesättigten Bodenzone wurden vielmehr oberflächennah verfilterte Grundwassermessstellen herangezogen, mit denen die tatsächliche Grundwasserbelastung und die Verlagerung von Schadstoffen aus der ungesättigten Zone nachvollzogen werden konnten. Insoweit wurde der “Ort der Beurteilung” regelmäßig – indirekt und näherungsweise – über entsprechende Boden- und Grundwasseruntersuchungen und nicht über Sickerwasseruntersuchungen erfasst.
- Aufgrund der vorhandenen Flächennutzung können auf Altlastengrundstücken erhebliche Limitierungen für die Schadenserkundung und die Sanierung bestehen. Hier sind Investitionsentscheidungen zur Restrukturierung der Fläche unter Einbeziehung von Rückbaumaßnahmen und der Tiefenenttrümmerung eine unerlässliche Bedingung, um Eintragsquellen im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Grundwasser hinreichend zu identifizieren und zu lokalisieren sowie über Gefahrenabwehrmaßnahmen mit verhältnismäßigem Aufwand zu beseitigen.

5 Fallbeispiele

5.1 Grundwassersanierung

5.1.1 Wirksamkeitsprognosen bei der Grundwassersanierung

Zur Einschätzung der Verhältnismäßigkeit einer hydraulischen Sanierungsmaßnahme erfolgen im Regelfall vorlaufend hydrogeologische Untersuchungen und hydraulische Modellierungen zum Schadensbild. Im Ergebnis werden, ausgehend vom Sanierungsziel und den Sanierungszielwerten, die Rahmenbedingungen der Sanierungsmaßnahme auf Grundlage einer Sanierungsplanung definiert. Dazu gehören u. a. der angenommene Wasseraustausch, das Fördervolumen und die prognostizierte Zeitdauer einer hydraulischen Grundwasserreinigung. Diese Faktoren beruhen auf modellgestützten und gutachterlichen Annahmen, die den Ordnungsbehörden für die hinreichende Bestimmtheit einer Sanierungsanordnung zur Verfügung stehen.

In diesem Rahmen wurden verfügbare Daten von insgesamt 12 Grundwassersanierungen im ÖGP Berlin und weiteren Grundstücken, die dem Verwaltungsabkommen unterfallen, ausgewertet, um die Planungsdaten zu den hydraulischen Maßnahmen mit den tatsächlichen Ergebnissen zu vergleichen. Die Resultate sind in der Tabelle 1 nach den beiden Fallgruppen “Beendete” und “Laufende” Sanierungsmaßnahmen in der Abweichung zwischen der Sanierungsplanung und dem tatsächlichen Sanierungsverlauf dargestellt. Die hier ausgewiesenen Daten beruhen auf Mittelwerten und relativieren damit die Bandbreite von Einzelfällen erheblich.

Dieses Ergebnis spricht nicht gegen die notwendige planerische Ermittlung der für eine hydraulische Sanierung erforderlichen lokalen Parameter und soll weder als Kritik an den Gutachterbüros noch an dem Verfahren einer realistischen Wirksamkeitsprognose verstanden werden. Vielmehr wird deutlich, dass bei der ingenieurtechnischen Erkundung und Planung, aber auch bei der Bewertung der grundsätzlichen technischen Machbarkeit vielfach zu optimistische Ansätze im Rahmen der Verhältnismäßigkeitsprüfung verwandt

	Abweichung Wasseraustausch in x-facher Zahl	Abweichung Fördervolumen in x-facher Zahl	Abweichung der Sanierungsdauer in %
Beendete hydraulische Sanierungsmaßnahmen	620	850	410
Laufende hydraulische Sanierungsmaßnahmen	500	1 200	350

Tab. 1: Abweichungen zwischen Planungsdaten und Ausführungsparametern bei der hydraulischen Sanierung an ausgewählten Standorten des VA - Altlasten in Berlin (u. a. mit Anpassungen der Förderregime)

Tab. 1: Differences between the planning documents and the really obtained results of the hydraulic remediation on selected remediation sites in Berlin (among others with adaption of the extraction process)

wurden und als Randparameter (z. B. Fördervolumen) Eingang in eine Anordnung finden, um zur Bestimmtheit des Verwaltungsaktes beizutragen. Tatsächlich gestatten die jeweiligen Gutachten nebst Modellierungen aber nur eine "scheinbare" Bestimmtheit, weil mit lediglich als "unsicher" qualifizierbaren Planungsdaten suggeriert wird, dass die technische Umsetzung der Maßnahme zweckbestimmt, erforderlich, geeignet und angemessen ist, um die Maßnahmenziele, d. h. auch die Sanierungszielwerte, zu erreichen.

Aus den nachgewiesenermaßen sehr begrenzten Aussagen von Planungsansätzen und Erfolgsprognosen hat die verantwortliche Senatsbehörde ihre Konsequenzen dahingehend gezogen, dass die Bestimmtheit von Sanierungszielen relativiert und dem begleitenden Überwachungs- und Modifizierungsprozess mit einer Vielzahl von Untersuchungen mehr Raum und Bedeutung beigemessen wird. Diese operative Vorgehensweise hat sich bewährt, da die beteiligten Parteien den konkreten Sanierungsverlauf und damit die Erreichbarkeit von Sanierungszielen permanent kritisch prüfen und in der gemeinsamen Fachdiskussion verhältnismäßige Alternativen bzw. Modifizierungen zum Sanierungsprozess erarbeiten müssen.

5.1.2 Grenzen der hydraulischen Sanierung

Im Ostberliner Stadtgebiet wurden 30 Grundwasser-Sanierungsmaßnahmen im Hinblick auf die Erreichung der behördlich vorgegebenen Sanierungsziele ausgewertet. Alle Standorte liegen im wasserwirtschaftlich genutzten Hauptgrundwasserleiter und wurden aufgrund der Gefahrenrelevanz mittels hydraulischer Maßnahmen zu Beginn an der Eintragsquelle und an der Grundstücksgrenze saniert bzw. gesichert. Einige befinden sich noch in der aktiven Sanierung. Die stoffliche Charakteristik der Grundwasserschäden ist in Tab. 2 ausgewiesen.

Wie die Tab. 2 zeigt, sind LHKW- und BTEX-Grundwasserschäden auf 20 von insgesamt 30 Flächen verbreitet. In den Transfergebieten zu zwei Wasserwerken dominieren LHKW-Belastungen (primär LCKW), die sich über eine Grundwasseroberfläche von ca. 10 km² erstrecken.

Ein Erfordernis zur Prüfung von Maßnahmen zur Gefahrenabwehr auf den Schadstoffeintrags-Grundstücken wird seitens der zuständigen Behörde gemäß der seit 2005 geltenden Berliner Liste gesehen, wenn z. B. die Konzentration der LHKW im Grundwasser 100 µg/l oder bei VC 2,5 µg/l überschreitet. Die Sanierungszielwerte orientieren sich an den Geringfügigkeitsschwellenwerten der LAWA in Höhe von 20 µg/l (Summenparameter LHKW) und 0,5 µg/l (VC). Für BTEX gelten Sanierungszielwerte von 20 µg/l in der Summe und 1 µg/l bei Benzol. Da vom Gesetzgeber eine hinreichend bestimmte und auch tatsächlich erreichbare Zielvorgabe verlangt wird, liegt es aus hiesiger Sicht im Ermessensspielraum der zuständigen Behörde, diese Zielwerte unter Berücksichtigung des realen Sanierungsverlaufes entsprechend anzupassen. Dies erfolgt in Berlin regelmäßig mit dem Zusatz in den Anordnungen, dass die Sanierung nach Abstimmung mit der Behörde unter bestimmten Bedingungen auch bei Nichterreichen der Sanierungszielwerte beendet werden kann.

Für die ausgewählten Sanierungsfälle wurden drei unterschiedliche generalisierte Verlaufskurven abgeleitet, die in der Abb. 3 dargestellt sind

Die Verlaufskurve I zeigt den Sanierungsverlauf für hydraulisch nicht abschließend sanierte Fälle. Als eine der Hauptursachen für den ausbleibenden Erfolg gilt hier das Auftreten von lokalen LHKW-Flüssigphasen (DNAPL, Pooling, Fingering) und BTEX-Hot-spots (LNAPL) im wassergesättigten Bereich sowie die weitgehend diffusionsgesteuerte Anreicherung gelöster Schadstoffe in der immobilen Porosität des Aquifers.

Neben der Modifizierung von hydraulischen Sanierungsparametern, die allerdings nur vereinzelt einen größeren Sanierungserfolg erbrachten, bedeutete dies, dass die hydraulische Sanierung mit weitaus kostenintensiveren Maßnahmen, wie z. B. Bodenaushub, ergänzt werden musste. Diese Erfahrungen betrafen vielfach Altstandorte, die in den frühen 90er Jahren erkundet und sanierungstechnisch beplant worden sind. Hierbei fehlten bei dem damaligen Stand der Technik die Möglichkeiten der Schadstoffdepoterkundung, wie sie heute z. B. mit den verschiedenen Ver-

	LHKW	BTEX	LHKW, BTEX, CB, Alkylphenole, OCP	PAK und MKW	Sonstige (z. B. Cyanide, Arsen)	Summe
Anzahl der Grundstücke	16	4	4	5	1	30
Transferbereiche	2				1	3
Anteil in %	54	13	13	17	3	100

Tab. 2: Stoffliche Charakterisierung von Grundwasserschäden auf VA-Standorten in Berlin

Tab. 2: Main pollutants of groundwater contamination on remediation sites in Berlin

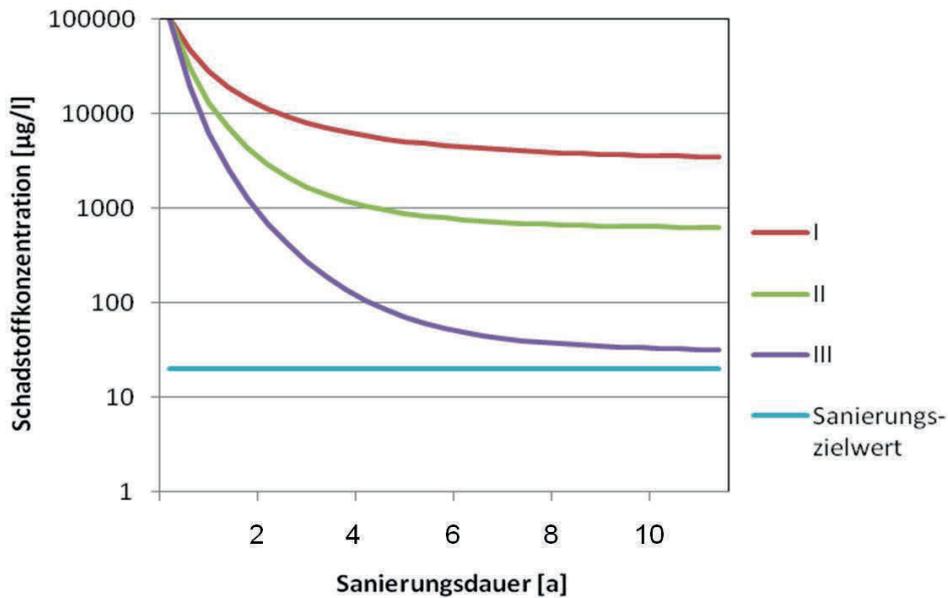


Abb. 3:
Verläufe der hydraulischen Grundwassersanierung auf VA-Altlastengrundstücken in Berlin (ZIMMERMANN 2008)

Fig. 3:
Characteristic behaviors of contaminants as a result of hydraulic groundwater remediation on contaminated sites in Berlin (ZIMMERMANN 2008)

fahren teufenorientierter in-situ-Grundwasserbeprobungen und Liniererkundungen praktiziert werden. Da diese Schadstoffherde, z. B. aufgrund bestehender Überbauungen sowie ihrer meist nur lokal limitierten Ausbreitung oftmals schwer zu ermitteln sind, ist die erfolgreiche "Quellensanierung" im Boden als wichtiger Bestandteil der Grundwassersanierung vielfach von komplexen Randbedingungen der Grundstücksnutzung abhängig. So zeigen unbefriedigende hydraulische Sanierungsverläufe an, inwieweit entweder nicht erkannte oder nur schwer hydraulisch extrahierbare Schadstoffpotentiale permanent in das Grundwasser emittieren, so dass erst im Ergebnis dieser Sanierungsverläufe zielgerichtete, kostenoptimierte Untersuchungen des tieferen Untergrundes veranlasst werden können.

Die Verlaufskurve II zeigt den Stand zu den derzeit noch in Betrieb befindlichen Grundwassersanierungsmaßnahmen an.

Wie aus der Verlaufskurve III zu erkennen ist, konnte keine der bisher abgeschlossenen hydraulischen Sanierungen den ursprünglich geplanten Sanierungszielwert erreichen, sondern sich nur annähern. Sie wurden beendet, da die Kosten im Vergleich zum Schadstoffaustrag nicht mehr gerechtfertigt und somit die Verhältnismäßigkeit der Mittel nicht gewahrt werden konnte. Lediglich im unmittelbaren Vorfeld eines Wasserwerkes ist es nach zwei Jahrzehnten der Sanierung gelungen, die angestrebten Vinylchlorid-Konzentrationen (2–3 µg/l VC) im Grundwasser zu erreichen.

Bei einer Bandbreite der spezifischen Sanierungskosten von 40 €/kg bis 2000 €/kg entfernter Schadstoffmasse ermittelten die Autoren einen Durchschnittswert von ca. 500 €/kg für alle hier betrachteten Grundwassersanierungsmaßnahmen (ohne die Berücksichtigung von Sicherungsgalerien).

Allein auf den Altlastenflächen des Ökologischen Großprojektes Berlin wurden im Zeitraum ab 1992/93 rd. 179 Mio. m³ kontaminiertes Grundwasser gefördert, in 40 Grundwasserreinigungsanlagen aufbereitet und damit etwa 677 t Schadstoffe entfernt (NAUMANN & ZIMMERMANN 2018)

5.2 Erfordernis der Quellensanierung / Bodensanierung

Die Ausführungen in den Abschnitten 5.1.1 und 5.1.2 lassen erkennen, dass es eine Reihe von Altlastengrundstücken mit stofflichen Grundwasserschäden gibt, deren Sanierungserfolg an die nachhaltige Beseitigung der Schadstoffquelle(n) im Boden geknüpft ist. Hier stehen mehrere technische Sanierungsverfahren zur Verfügung. Insbesondere die in-situ-Verfahren werden in der Literatur und auf Fachveranstaltungen vielfach beschrieben und vorgestellt. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass eine Reihe von publizierten in-situ-Maßnahmen lediglich auf Ergebnissen aus Labor- bzw. Feldversuchen basiert, praktische Anwendungen bei komplexen großräumigen Schadensfällen hingegen die Ausnahme sind.

Für die hier betrachteten Altlastenfälle gilt dazu folgendes: Von den Grundwassersanierungsprojekten konnte nur ein Objekt erfolgreich mit einer in-situ-Maßnahme (ISCO: in situ chemische Oxidation) nachlaufend zur hydraulischen Sanierung und auch nur nach örtlichem Bodenaushub saniert werden. Alle anderen Versuche der chemischen und biologischen in-situ-Grundwassersanierung (Einbringen von Fentons Reagenz, Natrium- bzw. Kaliumpermanganat, Sauerstoff, Airsparging) sind dagegen bereits aufgrund ihrer technisch unbefriedigenden Labor- bzw. Feldversuchsergebnisse, aber auch teilweise im Rahmen der Kostenprüfung im Vergleich mit dem konventionellen Bodenaushub gescheitert. Hierzu ist allgemein festzustellen, dass unter

Bedingungen, bei denen die hydraulische Sanierung an ihre Grenzen stößt, auch die physikalischen, chemischen und biologischen Verfahren nur entsprechend limitiert angewendet werden können. Da die reaktiven Substanzen aufgrund der Schadstoffverteilungen bzw. ungünstiger hydrodynamischer Bedingungen die Quellbereiche nicht vollständig oder nur über relativ lange Zeiträume durchdringen, lassen sich damit Herdsanierungen nur in besonderen Einzelfällen realisieren.

Insoweit ist im Land Berlin auch weiterhin der Bodenaushub das Mittel der Wahl zur "Quellensanierung" bei Grundwasserschäden. Die Abb. 4 zeigt die für insgesamt 36 Fälle der Bodensanierung in den letzten Jahrzehnten angewandten Bodenaushubverfahren.

Die kosten- und nutzenentscheidende Festlegung des optimalen Aushubvolumens beim Bodenaushub, die eine nachhaltige Schadstoffentlastung des Grundwassers gewährleistet, ist eines der anspruchsvollsten und vielfach kontrovers diskutierten Themen im Vorfeld einer solchen Sanierungsmaßnahme. Dazu wird in der Regel im Ergebnis der Bodenuntersuchungen ein geometrisches Sanierungsziel umrissen, das darin besteht, den Untergrund im Quellbereich im Rahmen der Verhältnismäßigkeit von Schadstoffen zu entlasten und so das grundwasserverfügbare stoffliche Nachschubpotential insoweit zu reduzieren, dass keine weiteren Grundwassersanierungsmaßnahmen notwendig sind. Hierbei stellen sich insbesondere an die gutachterlichen Untersuchungen und ingenieurseitigen Planungsarbeiten hohe Anforderungen. Bewährt hat sich ein Modell, bei dem mehrere Aushubvarianten mit ihren ermittelten Schadstofffrachten kostenseitig gegenübergestellt werden und im Ergebnis die Aushubvariante gewählt wird, die im Vergleich von ausgetragener Schadstoffmenge zu Aushubkosten die optimierte bzw. effizienteste Lösung bietet.

Die Erfahrungen vieler Bodensanierungsmaßnahmen zeigen aber auch, dass selbst relativ engmaschige Linerbeprobungen im Rahmen der Sanierungsuntersuchungen die tat-

sächliche Schadstoffverteilung im Boden nur eingeschränkt abbilden können und deshalb in einzelnen Fällen das geometrische Sanierungsziel im Zuge von Sohlbeprobungen bzw. der Deklaration des Bodenaushubs in seiner vertikalen und horizontalen Begrenzung ggf. angepasst werden muss („letzte Baggerschaufel“, Messungen der leichtflüchtigen Schadstoffe mit dem Photoionisationsdetektor PID).

Allein mit den Bodensanierungsprojekten auf 17 Grundstücken im Ökologischen Großprojekt Berlin wurden insgesamt 1,5 Mio t Bauschutt und Boden ausgehoben und zu 76 % als gefährlicher Abfall entsorgt. Hinzu kamen rd. 91 000 t belasteter Industrieschlamm und rd. 2 t LHKW und BTEX aus der ungesättigten Bodenzone. Die aus der gesättigten Bodenzone ausgetragenen ca. 1 500 t Schadstoffe, insbesondere COP, BTEX und MKW, können nur eine Vorstellung der Größenordnung vermitteln, da für eine vollständige Bilanzierung die Datenbasis nicht hinreichend ist (NAUMANN & ZIMMERMANN 2018).

6 Nutzung von Synergien der Flächenentwicklung im Rahmen der Altlastenfreistellung

Im Unterschied zur anfänglichen Altlastenbearbeitung in den 90er Jahren hat man ab dem Jahr 2000 auf vielen der ehemals belasteten Industrieflächen investiert, so dass eine große Anzahl dieser Grundstücke neu bebaut bzw. unter Nutzung vorhandener Bausubstanz einem neuen Zweck zugeführt wurden. Diese Entwicklung wäre nicht möglich gewesen, wenn man beispielsweise nur eine hydraulische Sicherung der Wasserwerke ohne die Sanierung der Schadstoffeintragsgrundstücke verfolgt hätte. Mit diesem erweiterten Ansatz ist es gelungen, die ursprünglich weitflächig vorhandenen Schadstoffbelastungen in Boden und Grundwasser in diesem Teil von Berlin maßgeblich zu reduzieren. Gleichzeitig erreichte man neben dem Zweck der Gefahrenabwehr auch die Beseitigung von Investitionshemmnissen. Nicht zuletzt der Tatsache einer in der Regel 90%igen Kostenübernahme der Gefahrenabwehrmaßnahmen durch

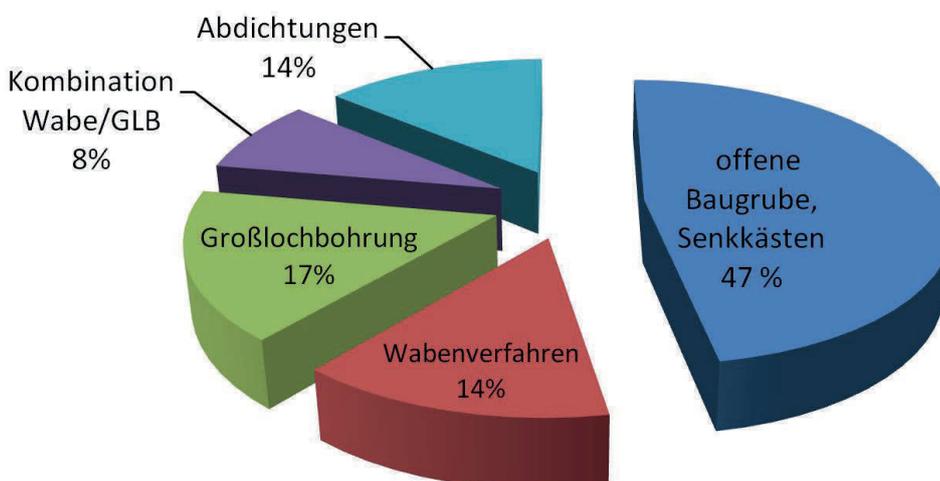


Abb. 4: Angewandte Sanierungs- und Sicherungsverfahren bei der Bodensanierung im Bereich des VA-Altlasten, Land Berlin

Fig. 4: Technical procedures of remediation and containment performing soil remediation measures on contaminated sites in Berlin

Bund und Land ist es zu verdanken, dass sich zahlreiche Investoren entschlossen haben, nach Einstellung der früheren Industrieproduktion Entwicklungsmaßnahmen auf den ehemaligen Altlastengrundstücken umzusetzen, hier neue Gewerbe anzusiedeln und Arbeitsplätze zu schaffen.

Sobald Entwicklungsabsichten zu den einzelnen Altlastengrundstücken bestanden, hat sich die jeweilige Projektgruppe mit den Investoren ins Benehmen gesetzt, um Synergien für die Umsetzung laufender bzw. zurückgestellter Gefahrenabwehrmaßnahmen auszuloten. Das Ziel dieser Vorgehensweise für die Behörde und den Investor besteht darin, dass auf dem Grundstück alle Schadstoffherde erkannt und – soweit gefahrenrelevant – beseitigt werden. Zusätzlich kann der Investor ggf. finanzielle Vorteile im Rahmen der Mehrkostenklausel zur Entsorgung erwarten, sofern sanierungserhebliche Schadstoffmassen im Rahmen seiner Baufeldvorbereitung anfallen. Bund und Land dage-

gen können Untersuchungen und/oder Bodensanierungen umsetzen, ohne z. B. die Kosten zum Abriss von Gebäuden oder Fundamenten zu tragen.

Insoweit führt auf Altlastengrundstücken die Kopplung von Sanierungsmaßnahmen (Quellensanierung) an investitionsbedingte Erschließungen für alle Beteiligte zu einem hohen Nutzen. Statistische Erhebungen der Berliner Senatsverwaltung belegen, dass im Rahmen des Freistellungsverfahrens insgesamt 73 Grundstücke mit einer Gesamtfläche von 408 ha saniert wurden bzw. derzeit noch saniert werden. Für 61 Flächen mit einer Gesamtflächen-größe von 343 ha wurden seitens der öffentlichen Hand Sanierungskosten mit einem Gesamtbetrag von 183,2 Mio. € refinanziert. Daraus resultieren Durchschnittskosten von etwa 53,3 €/m² für die in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführten Altlastenflächen mit Kosten-Bandbreiten gemäß Abb. 6 (NAUMANN & MÜLLER 2015).

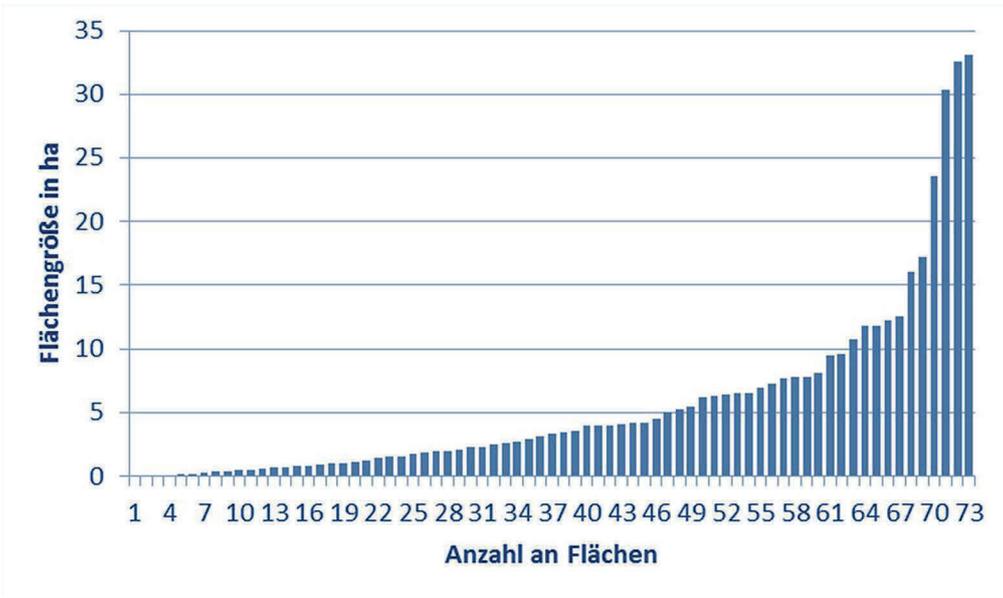


Abb. 5: Verteilung der Flächengrößen (ha)

Fig. 5: Representation of the area sizes (ha)

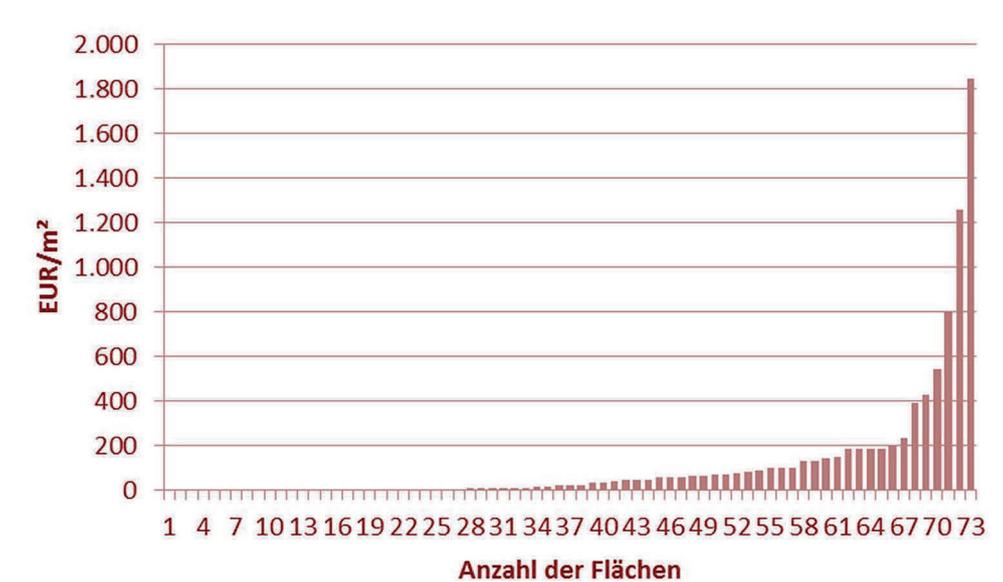


Abb. 6: Flächenspezifische Sanierungskosten (€/m²)

Fig. 6: Area-specific costs of remediation (€/m²)

Von den sanierten Flächen werden derzeit bereits 50 ha für industrielle und gewerbliche Zwecke genutzt, 65 ha befinden sich in der konkreten Planungsphase und 218 ha stehen einer neuen Nutzung für Wohnbebauung, Misch- oder Gewerbegebiete zur Verfügung, nur 75 ha sind aktuell noch nicht beplant. Inwieweit durch das Bevölkerungswachstum und dem damit verbundenen erheblichen Wohnungsdruck in Berlin weitere Umnutzungen stadtplanerisch erforderlich sind, ist derzeit noch nicht abschätzbar aber wahrscheinlich.

7 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der 30-jährigen Altlastensanierung in Berlin zeigen, dass mit der weitflächigen Schadstoffverminderung im Boden und Grundwasser die Sicherung der Trinkwassergewinnung langfristig und nachhaltig erreicht wird. Die damit verbundene vielfache Sanierung innerstädtischer Industriebrachen mit Mitteln der öffentlichen Hand führt zu umfangreichen privatwirtschaftlichen Investitionen und wirkt positiv auf Stadtentwicklung. Dies ermöglicht die Reduzierung des Flächenverbrauches ebenso wie die Bewahrung städtebaulicher Strukturen von Wohnen und Gewerbe. Diese Entwicklung entspricht dem Ziel und erfüllt den Zweck des Investitionshemmnis-Beseitigungsgesetzes aus dem Jahre 1991.

Summary

The results of 30 years of remediation of contaminated sites in Berlin show that the widespread reduction of pollutants in the soil and groundwater had contribute decisively to the sustainable protection of drinking water supply in the long term. The associated multiple remediation of urban brownfield sites with public funds leads to extensive private-sector investments and has a positive effect on urban development. This makes it possible to reduce land consumptions as well as the preservation of urban structures of residential and commercial areas. This development is in line with the goal and fulfills the purpose of the Investment Obstacles Removal Act from the year 1991.

Literaturverzeichnis

- NAUMANN, J. & W. MÜLLER (2015): Altlastenmanagement und Flächenrecycling in Berlin, unveröffentlicht
- NAUMANN, J. & A. ZIMMERMANN (2018): 25 Jahre Ökologisches Großprojekt Berlin, eine Erfolgsgeschichte aus der Bundeshauptstadt – altlasten spektrum 05.18, S. 173–183
- RAUCH, F. (2013): Chancen und Grenzen von Quellensanierungen an Beispielen im Ökologischen Großprojekt Berlin (ÖGP Berlin)

ZIMMERMANN, A. (2008): Erfolge und Grenzen bei der Erkundung und hydraulischen Sanierung von Grundwasserschäden – Altlastensymposium „15 Jahre Ökologisches Großprojekt Berlin“

Anschriften der Autoren:

Dipl.- Geol. Andreas Zimmermann
GESA Gesellschaft zur Entwicklung
und Sanierung von Altstandorten mbH
Schöneberger Ufer 89–91
10785 Berlin
E-Mail: a.zimmermann@gesa-info.de

Dipl.- Geogr. Frank Rauch
Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität,
Verbraucher- und Klimaschutz
Brückenstraße 6
10179 Berlin
E-Mail: frank.rauch@senumvk.berlin.de

Brandenburg. Geowiss. Beitr.	Cottbus	Bd. 29/2022	S. 47–54	6 Abb.
------------------------------	---------	-------------	----------	--------

Vom Umgang mit artesischen Verhältnissen in Brandenburg am Beispiel der Arteserhavarie von Eberswalde im Januar 2021

The handling of artesian conditions in Brandenburg using the example of the artesian accident in Eberswalde in January 2021

NORBERT SCHLAAK

Artesik in Brandenburg

In Grundwasserleitern, die von bindigen Sedimenten (Ton, Schluff), sogenannten Geringleitern überdeckt werden, kann das Wasser unter Druck stehen. Grund dafür sind oft geologische Verwerfungen und Schichtverstellungen im Untergrund, die im Lockergesteinsgebiet Brandenburgs hauptsächlich während bzw. in Folge der mehrfachen Inlandvergletscherungen entstanden sind. Ein stärkerer Zufluss aus höher liegenden Grundwasserneubildungsgebieten führt in diesen bedeckten Grundwasserleitern in tiefergelegenen Bereichen zu einer Druckerhöhung. Wird ein unter Druck stehender Grundwasserleiter angebohrt, findet der Druckausgleich statt, indem das Wasser im Bohrloch aufsteigt. Ist der Druck so hoch, dass es ohne Pumpen am Bohransatzpunkt an der Oberfläche austritt, spricht man von einem Arteser. Sind an einem Standort mehrere bedeckte Grundwasserleiter übereinander ausgebildet, können unterschiedliche Druckniveaus vorhanden sein.

Bohrungen und andere Eingriffe in den Untergrund in Gebieten mit artesischen Grundwasserverhältnissen

Die Suche nach einem Bohrunternehmen für eine Brunnenbohrung oder die Errichtung einer Erdwärmesondenanlage kann sich durchaus schwierig gestalten, sollte der Bohrpunkt in einer Region Brandenburgs liegen, in der mit artesischen Verhältnissen gerechnet werden muss. Vor allem ortskundige und erfahrene Bohrbetriebe wissen, dass bei einer Arteserhavarie mit einem höheren zeitlichen und technischen Aufwand gerechnet werden muss. Der verursacht zusätzliche Kosten und damit auch Probleme mit dem Auftraggeber. Im Ergebnis der Suche übernehmen häufig Firmen den Bohrauftrag, die mit den lokalen hydrogeologischen Verhältnissen nicht vertraut sind und werden dann unerwartet mit einer Arteserhavarie konfrontiert.

Fehlhandlungen bei Havarien

Wie die Erfahrungen des LBGR in den letzten Jahren gezeigt haben, waren bei den gemeldeten Havarien die Mehrzahl der verursachenden Bohrfirmen bei ihren Eingriffen in den Untergrund auf artesische Verhältnisse schlecht oder gar nicht vorbereitet. Zum einen waren offenbar keinerlei Erfahrungen mit Artesik vorhanden, wodurch z. T. falsch auf die Situation reagiert und diese dabei oft sogar verschlimmert wurde. Zum anderen fehlte das notwendige Equipment, um überhaupt Herr der Lage werden zu können. Es existieren Beispiele, wo Arteser über mehrere Wochen und Monate nicht verschlossen wurden, bis man sich auf die richtige Art der Behebung der jeweiligen Havarie und den Träger der Kosten einigen konnte. Nach einem Unfall wurde versucht, mehrere Kubikmeter frischen Betons in das flutende Bohrloch zu schütten. Hier mit dem Ergebnis, dass das Bohrloch an der Geländeoberfläche zwar irgendwann fest zementiert war, der Arteser aber unter der Betonplombe mehrere neue Wege fand, um im Radius von ca. 30 Metern zu "verwildern" und an verschiedenen Stellen an der Geländeoberfläche auszutreten. In Einzelfällen verließen die verursachenden Bohrfirmen, zum Leidwesen des Auftraggebers, sogar das Gelände, ohne sich die entsprechende fachliche und technische Hilfe zu holen, um den Schaden zu beheben.

Da bei einer Arteserhavarie nicht nur Wasser aus dem Bohrloch fließt, sondern zugleich auch Feinsedimente ausgetragen werden, kommt es im Untergrund zu einem Masse-/Volumendefizit, was im Umfeld des Bohrlochs zu Setzungen führen kann und damit u. a. die spätere Abdichtung erschwert. Ein umsichtiges und schnelles Handeln nach dem Öffnen eines Artesers ist daher auch für das umliegende Gebiet von entscheidender Bedeutung, vor allem, wenn es bebaut ist.

Planung und Vorbereitung

Besonders in urbanen Gebieten können Arteserhavarien große Schäden verursachen. Daher sind vor Eingriffen in den Boden durch Bohrungen, Sondierungen sowie Erdarbeiten, unbedingt alle verfügbaren Informationen zu den Untergrundverhältnissen abzufragen und die Arbeiten entsprechend zu planen und anzupassen.

Erste Informationen können dazu im öffentlich zugänglichen Geo-Kartenportal des LBGR <http://www.geo.brandenburg.de/lbgr/hydro> abgefragt werden. Hier sind u. a. alle, dem LBGR bisher bekannten Standorte mit Artesik zu finden (Abb. 1). Durch die wachsende Zahl geologischer Bohrungen und deren fachliche Erfassung und Beurteilung verbessert sich ständig die Datenlage zur Geologie und Hydrogeologie. Die vom LBGR erstellten *„Handlungsempfehlungen für Bohrarbeiten in Gebieten mit artesischen Grundwasserverhältnissen“* liegen bei den Unteren Wasserbehörden der Landkreise Brandenburgs vor. Darüber hinaus ist eine direkte Anfrage beim Geologischen Dienst (LBGR, Cottbus) möglich.

Grundsätzlich sind in Gebieten mit gespannten Grundwasserverhältnissen Eingriffe also nicht per se verboten, sondern unter bestimmten Voraussetzungen ausführbar. Für Bohrunternehmen mit den entsprechenden Fachkenntnissen und der technischen Ausrüstung ist Artesik durchaus beherrschbar.

Bohrverfahren und Artesik - damals und heute

Von der Art des Eingriffs bzw. des Bohrverfahrens hängt es letztlich ab, welche Handlungen beim Antreffen artesischer Verhältnisse ausgeführt werden sollten und wie hoch der notwendige technische und zeitliche Aufwand ist, um einen Arteser wieder sicher zu verschließen.

Betrachtet man die Anzahl der beim LBGR gemeldeten Bohrungen nach dem eingesetzten Bohrverfahren und dem Zweck der Bohrung, ist festzustellen, dass sich das Verhältnis von verrohrten Trockenbohrungen hin zu Spülbohrungen stark verschoben hat, was vor allem mit dem Ausbau der oberflächennahen Geothermie in den letzten 20 Jahren

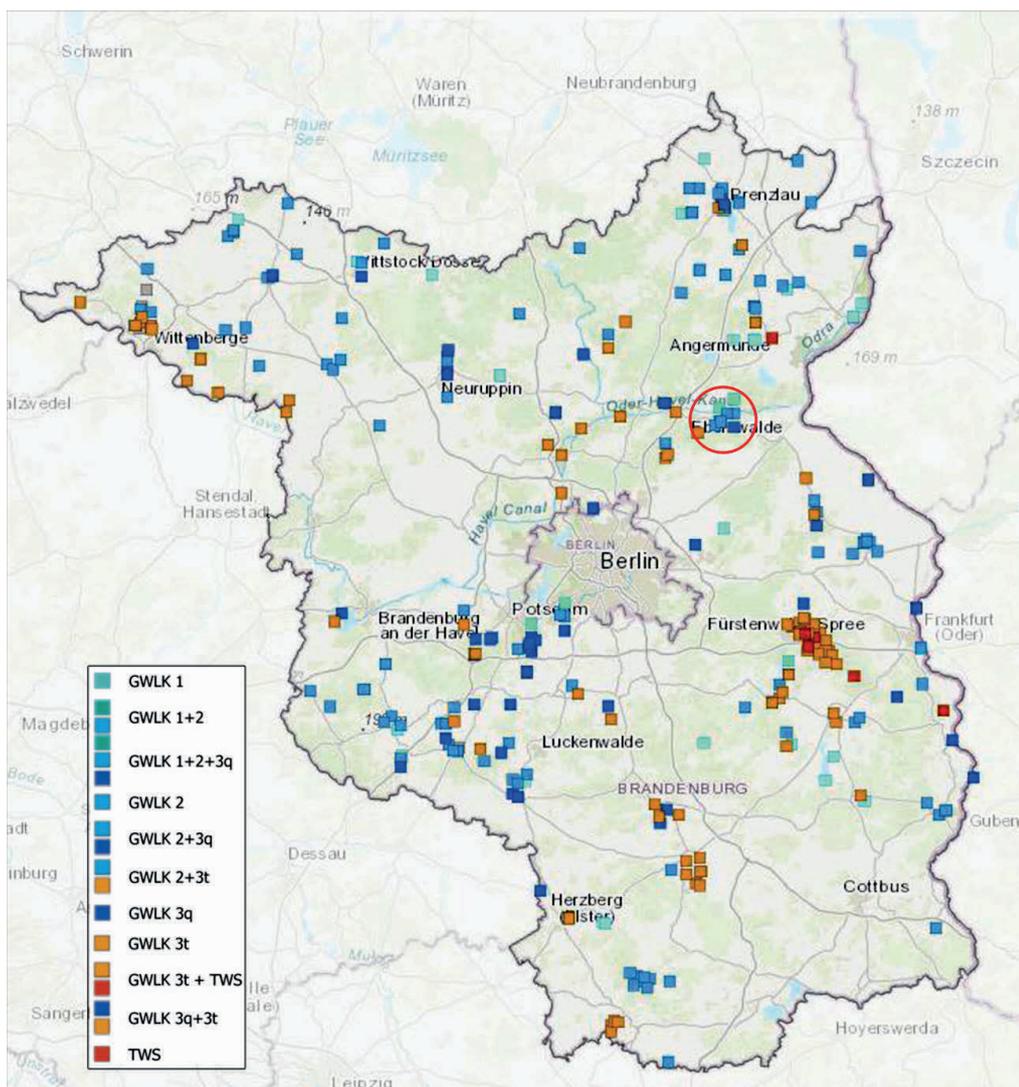


Abb. 1: Artesisch gespannte Grundwasservorkommen in Brandenburg, Markierung (Kreis) = Region Eberswalde (<http://www.geo.brandenburg.de/lbgr/hydro>)

Fig. 1: Artesian confined aquifers in Brandenburg, marking (circle) = region of Eberswalde (<http://www.geo.brandenburg.de/lbgr/hydro>)

zusammenhängt. Aber auch Brunnenbohrungen und Bohrungen für den Bau von Grundwassermessstellen werden aus Kostengründen zunehmend im Spülbohrverfahren ausgeführt.

Trockenbohrverfahren (verrohrt)

Werden bei Bohrungen im Trockenbohrverfahren artesische Verhältnisse angetroffen, kann man durch Verlängerung der Schutzverrohrung ein Auspiegeln des Überdrucks oberhalb der Geländeoberfläche erreichen, was als Voraussetzung für das sichere Verschließen des Bohrlochs gilt. Die Abdichtung der Schadstelle kann danach, also in Ruhe, mit geeigneten Materialien, wie z. B. Quellton, erfolgen. Auch die Gefahr des "Verwilderns" eines Artesers besteht bei diesem Verfahren nicht, da das unter Druck stehende Wasser von der Schutzverrohrung gefasst wird.

Spülbohrverfahren

Anders ist es bei den Direkt- bzw. Druckspülbohrungen, die in Brandenburg hauptsächlich für Erdwärmebohrungen zum Einsatz kommen. Diese werden meist unverrohrt bis 100 m und mehr ausgeführt. Während außerhalb der Gebiete mit Artesik nur unter bestimmten geologischen Verhältnissen die oberen Meter der Bohrstrecke verrohrt werden, um z. B. hohen Spülungsverlusten vorzubeugen, sollte in Gebieten mit artesischen Grundwasserverhältnissen bei Spülbohrungen die Verwendung und das Absetzen einer Verrohrung im hangenden Geringleiter selbstverständlich sein. Leider verfügen jedoch zahlreiche Bohrbetriebe, die Geothermiebohrungen anbieten, nicht über die erforderliche Technik, um eine Schutzverrohrung setzen zu können. Daneben sollten bei diesem Bohrverfahren Zusätze wie Kreide und Baryt (Schwerspat) für die Beschwerung der Spülung vorgehalten werden. Ein geeignetes Packersystem für den verwendeten Bohrdurchmesser und das notwendige Zubehör sollte ebenfalls nicht fehlen.

Dem Überbohren einer havarierten Spülbohrung mittels einer großkalibrigen Trockenbohrung sind je nach Tiefenlage des durchteuft hangenden Geringleiters jedoch Grenzen gesetzt. Denn die Spülbohrungen werden zwar lotrecht begonnen, können aber im Verlauf des Abteufens an Störkörpern, wie z. B. Geschieben, abgelenkt werden und ihre ursprüngliche Richtung verlassen. Mit zunehmender Tiefe ist das Auffinden der Schadstelle meist vergeblich und ist eher Glückssache.

Beim Anbohren eines schwachen Artesers kann es zudem passieren, dass, bedingt durch die umlaufende Spülung, der Arteser oft zu spät bemerkt wird. Existieren aus dem unmittelbaren Umfeld keine sicheren Daten zum lokalen Schichtenaufbau, wie z. B. ein verlässliches Schichtenverzeichnis oder die geophysikalische Vermessung einer älteren Bohrung, bleibt nur zu hoffen, dass die Probenauslage

an der aktuellen Spülbohrung die Geologie am Standort richtig abbildet, um dann z. B. einen Packer in der richtigen Tiefe im Geringleiter oberhalb des unter Druck stehenden Aquifers richtig zu positionieren.

Baggerarbeiten und Drucksondierungen

Zu den Eingriffen, bei denen es ebenfalls schon zu Arteserunfällen kam, gehören auch Bagger-/Schachtarbeiten und Drucksondierungen. Während erstere eher selten vorkommen, da Erdbewegungen dieser Art ja grundsätzlich Baugrunderkundungen vorausgehen sollten, stellen tiefe Drucksondierungen dagegen, trotz ihres geringen Durchmessers, eine nicht zu unterschätzende Gefahr für unkontrollierte Arteserhavarie dar. Das folgende Beispiel beschreibt eine derartige Havarie und die Vorgehensweise der Sicherungsmaßnahmen.

Beispiel Arteserhavarie in Eberswalde, Januar 2021

Die hier beschriebene Havarie ereignete sich am 20.01.2021 im Altstadtgebiet von Eberswalde, Breite Str. 17, Ecke Nagelstraße. Sie wurde durch eine von drei Drucksondierungen ausgelöst, die als notwendige Voruntersuchung für eine Pfahlgründung ausgeführt wurden. Obwohl die Tiefe der Drucksondierung die Erkundungstiefe des für den Standort vorliegenden Baugrundgutachtens offenbar deutlich übersteigen sollte, wurden dennoch keine zusätzlichen Informationen zu den hydrogeologischen Verhältnissen am Standort eingeholt. Eine Anzeige der geplanten Sondierungen erfolgte ebenfalls nicht.

Betrachtung der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse am Standort bis 20 m unter Flur (u. Fl.)

Ältere Bohrungen aus dem Umfeld der Havarie belegen die besondere oberflächennahe geologisch-hydrogeologische Situation, die auch durch die Eintragungen der bisher gemeldeten Arteser im Geo-Kartenportal des LBGR Ausdruck findet. Bohrunternehmen, die in diesem Bereich des Stadtgebiets von Eberswalde Bohrungen durchführen wollen, werden bei Nachfragen durch die vom Geologischen Dienst empfohlene Teufenbegrenzung von max. 12 m u. Fl. sensibilisiert. Auch der geotechnische Untersuchungsbericht für das Bauvorhaben am Standort Breite Straße 17, Ecke Nagelstraße, welches bereits 2020 durch das Unternehmen WILAB GmbH u. Co. KG erstellt wurde, basierte auf Baugrunderkundungen, die ebenfalls nur bis zu einer Teufe von 12 m niedergebracht wurden.

Eine aktuelle Schichtenaufnahme im Januar 2021 erfolgte im Zuge der Überbohrung des Artesers. Begleitende Untersuchungen zur stratigraphischen Stellung des Geschiebemergels und zur Altersstellungen der Torfe ergänzen die Befundlage (Abb. 2).

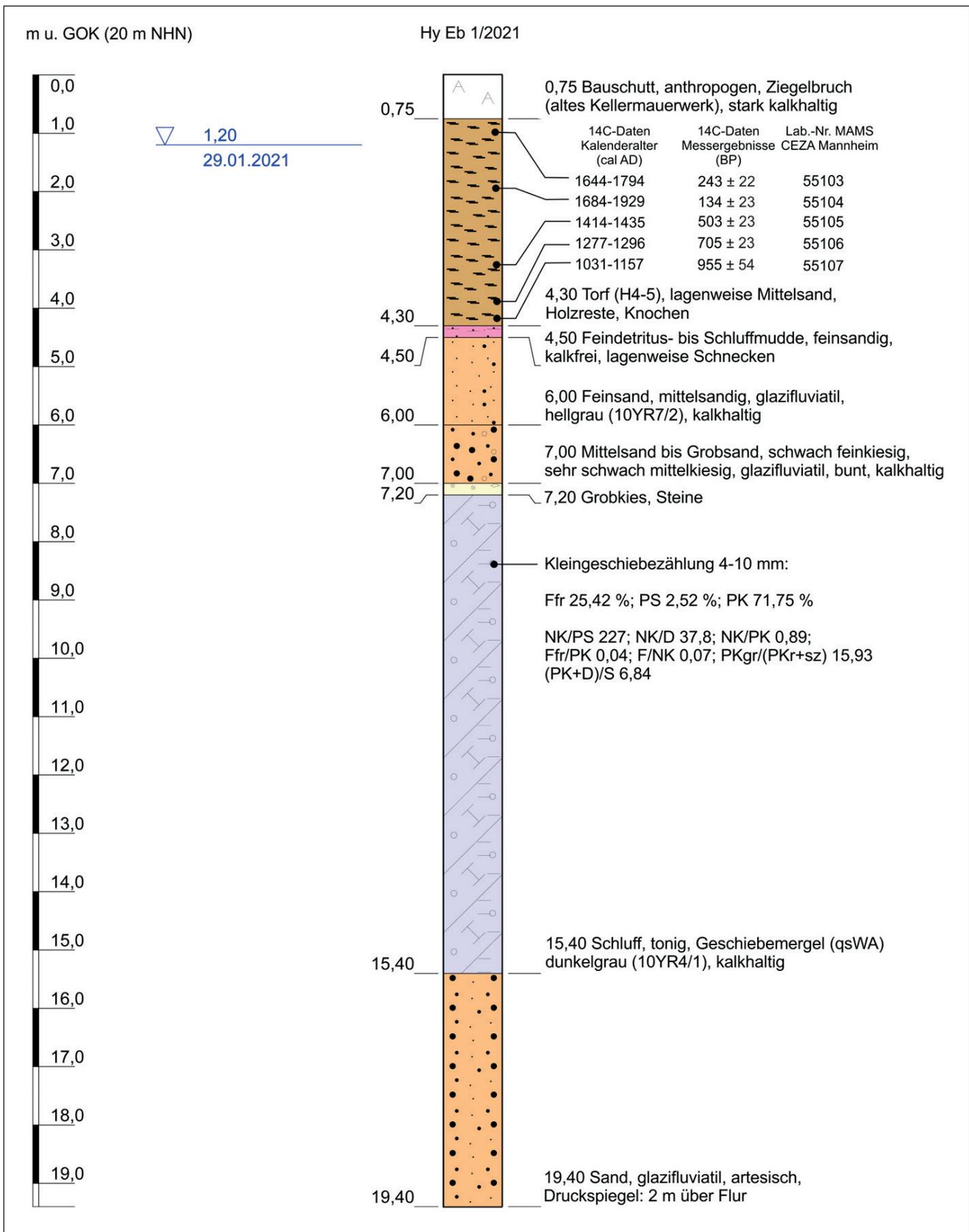


Abb. 2: Geologie und ergänzende Befunde am Havariepunkt in Eberswalde (UTM 33 420723/5854207)

Fig. 2: Geology and supplementary findings at the accident site in Eberswalde (UTM 33 420723/5854207)

Überdeckt von einer ca. 0,75 m starken Schicht aus Bauschutt, liegt ein ca. 3,5 m mächtiges, von Sandlagen durchsetztes holozänes Torfpaket, in dem vereinzelt Hölzer eingebettet sind. 14C-Analysen an einzelnen Torflagen und Holzresten belegen das sukzessive Aufwachsen des Torfkörpers vom Hochmittelalter bis zum Ende des 19. Jahrhunderts unweit der alten Stadtmauer. An der Basis der Torfe befindet sich eine geringmächtige feinsandige Feindetritus- bis Schluffmudde. Im Liegenden der organogenen Ablagerungen befinden sich mittelsandige Feinsande, die ab 6,0 m in Mittel- und Grobsande übergehen. Bei 7,0 m wurde eine Lage aus Grobkiesen und Steinen angetroffen, die als Aufarbeitungshorizont des ab 7,2 m einsetzenden Geschiebemergels angesehen wird. Das 8,2 m mächtige Schichtpaket bildet als toniger Schluff den Geringleiter, welcher den artesisch gespannten Grundwasserleiter (GWLK 2) bei 15,4 m u. Fl. bedeckt. Die Analyse des Kleingeschiebestandes (4–10 mm) einer zwischen 7 und 8 m entnommenen und ca. 12 kg schweren Probe des Geschiebemergels ergab eine für Saale-kaltzeitliche Grundmoränen typische Zusammensetzung. Eine Einstufung als Warthe-Moräne (qsWA) ist dabei wahrscheinlich (Details s. Abb. 2).

Der Grundwasserstand im GWLK 1 lag zum Zeitpunkt der Baugrunderkundung 2020 bei 1,2 m unter Flur. Der Druckspiegel (das hydraulische Potential) des Grundwassers im GWLK 2, der bei 15,4 m unter Flur angebohrt wurde, lag nach der Arteserhavarie im Januar 2021 bei 2,0 m über Flur.

Öffnung des Artesers

Nach den vorliegenden Sondierungsunterlagen wurden am 20.01.2021 an drei Stellen Drucksondierungen (CPT = Cone Penetration Test) CPT 15: Kegelgrundfläche 15 cm²/ø 43,8 ± 0,3 mm durchgeführt. Obwohl die geplanten Pfahl-

gründungen nur bis zu einer Tiefe von 6–8 m ausgeführt werden sollten, wurden die Drucksondierungen CPT 1, 2a und 3 bis 19,41 m, 14,41 m und 16,77 m u. Fl. abgeteuft (CPT 2 wurde bei 1,19 m u. Fl. abgebrochen, Ersatz dafür CPT 2a). Es ist zu vermuten, dass der Ausführende der Drucksondierung das bei CPT 1 artesisch austretende Wasser durch Verwendung eines 2 m langen KG-Rohres fassen wollte. Allerdings setzte er das Rohr nur ca. 0,4 m tief in den Boden, wo es im Bauschutt stecken blieb. Anschließend versuchte er, den weiteren Wasseraustritt an der Außenfläche des Rohrs mit Tonpellets abzudichten (Abb. 3). Die Bemühungen mussten misslingen, da die Öffnung des Artesers an der Oberfläche des Geschiebemergels bei ca. 7,2 m u. Fl. lag und damit natürlich nicht gefasst werden konnte. Eine Information über die Arteserhavarie an die Untere Wasserbehörde oder den Geologischen Dienst erfolgte durch den Verursacher nicht.

Abfolge der Sicherungsmaßnahmen Erster Versuch bei CPT 1

Das Bohrunternehmen, welches am Folgetag der Havarie vom Bauherren zur Baustelle gerufen wurde (Brunnenbau Stefan Hoppe, Albertshof, LK BAR), hatte, nach fachlicher Einschätzung der Situation, den Geologischen Dienst über die Arteserhavarie informiert und zunächst begonnen, die unter Wasser stehende Baustelle trocken zu legen, denn über Nacht hatte das artesisch ausgetretene Wasser inzwischen den unbedeckten Grundwasserleiter im Bereich des Baufeldes bis zur Geländeoberfläche vollständig geflutet. Dazu wurde in der Nähe des Artesers eine Grube gebaggert und ein Behälter mit Pumpe eingebaut. Durch Absetzen des ausgeschwemmten Bodenmaterials konnte damit das fast klare Wasser von hier aus über eine Rohrleitung in die Straßenentwässerung der Nagelstraße eingeleitet werden. Der Wasserstand sank in der Grube durch Abpumpen



Abb. 3:
Stand am 21. Januar 2021
bei CPT 1 vor Beginn
der Arbeiten

Fig. 3:
Status on January 21, 2021
at CPT 1 prior to
commencement of works

schon nach 4 Stunden auf ca. 0,5 m u. Fl. Aufgrund seiner Ortskenntnis und langjährigen Erfahrung entschloss sich Brunnenbaumeister Hoppe dazu, sofort zu handeln und zu versuchen, den havarierten Arteser zu überbohren. Um die Trockenbohrung vorzubereiten, wurde das Umfeld des Sondierlochs von CPT 1 bis auf Oberkante des Torfpakets freigelegt (Entnahme der Bauschuttauflage) und die Schutzverrohrung (\varnothing 159 mm) zentriert auf den Arteser aufgesetzt. Mit klassischer Bohrtechnik (Dreibock/Schappe/Ventilbohrer) wurde die Bohrung lotrecht abgeteuft. Bei ca. 7 m u. Fl. kam es plötzlich zum Anstieg der Wassersäule in der Schutzverrohrung bis auf 2,0 m über Gelände und pegelte sich hier ein. Da nach dem Ausschalten der Pumpe ein weiterer Anstieg des Wassers in der Grube nicht zu verzeichnen war, schien der Arteser zunächst gefasst worden

zu sein. Damit konnte eine Fortsetzung der Arbeiten am nächsten Tag bei Tageslicht erfolgen.

Während des weiteren Bohrfortschritts am Folgetag und dem Anbohren des Geringleiters (Geschiebemergel), kam es jedoch zu einem Abfall der Wassersäule in der Schutzverrohrung als Zeichen dafür, dass der Arteser nicht mehr gefasst war. Die lotrecht ausgeführte Bohrung stimmte ab hier offenbar nicht mehr mit der Richtung der Drucksondierung CPT 1 überein. Die später vorliegenden Protokolle der Drucksondierungen bestätigten die vermutete teilweise erhebliche Abweichung von der Lotrechten. Sie betrug bei CPT 1 im Übergang zum Geschiebemergel ca. 5°. Die Richtung der Ablenkung wurde während der Drucksondierung jedoch nicht aufgezeichnet.



*Abb. 4:
Zustand am 24.01.2021.
Sofortiger Wasseranstieg im
GWLK 1 nach Abschalten der
Pumpen. Im Vordergrund:
Schutzverrohrung 159 mm
auf Arteser bei CPT 1*

*Fig. 4:
Status on January 24th, 2021.
Immediate water rise in
GWLK 1 after switching off
the pumps. In the foreground:
159 mm protection pipe on
Arteser at CPT 1*



*Abb. 5:
Positionierung der
Bohranlage auf CPT 1
am 27.01.2021*

*Fig. 5:
Positioning of the drill rig
on CPT 1 on
January 27, 2021*



Abb. 6: Einleitung des abgepumpten Wassers in die Straßentwässerung

Fig. 6: Discharge of pumped water into the road drainage system

Aufgrund des Abfalls der Wassersäule in der Schutzverrohrung wurde die Trockenbohrung bei 8,0 m abgebrochen und der Abschnitt zwischen 7 und 8 m u. Fl. mit Quellton verfüllt. Beim Ziehen der Verrohrung bis 7,0 m stieg die Wassersäule in der Schutzverrohrung zwar wieder an, der Arteser war damit aber nicht gefasst, wie das austretende Wasser außerhalb der Verrohrung zeigte.

Trotz der relativ oberflächennahen Lage der Austrittsstelle aus dem Geringleiter reichte der Durchmesser der Überbohrung von 159 mm also nicht aus, dem von der Senkrechten abweichenden Verlauf der Drucksondierung CPT 1 bei ca. 7,0 m u. Fl. noch zu folgen. Für eine Erfolg versprechende Verschließung des Artesers war demzufolge ein größerer Bohrdurchmesser notwendig.

Das telefonische Hilfeersuchen ging sofort an mehrere Bohrunternehmen. Aber wie schon oben erläutert, sind Bohrungen an Standorten mit Artesik immer mit vielen Unwägbarkeiten verknüpft und daher nicht besonders beliebt, die Behebung fremder Havarien, noch dazu in einem Stadtzentrum unter den Augen vieler Schaulustiger, noch weniger. Nicht zu vergessen, stellte der genannte Baugrund mit mehreren Metern Torf ab 0,75 m u. Fl. nicht unbedingt den optimalen Standort für eine große Bohranlage dar. Nach Absagen einiger Bohrfirmen stellte nach weiteren zahlreichen Telefonaten schließlich am Samstag, dem 23.01. das Bohrunternehmen Daus Schüler GmbH (LK OHV) Hilfe zum 27.01.2021 in Aussicht. Die Übernahme der Kosten war natürlich Bedingung für den Einsatz und konnte zwischen Bauherr und Bohrunternehmen vereinbart werden.

Weitere Arbeiten im Vorfeld des Einsatzes der großen Bohranlage

Neben der Vorbereitung des Standortes für die Bohranlage wurde durch Fa. Hoppe am Rand des Baufeldes ein Brunnen im unbedeckten Grundwasserleiter (GWLK 1) zwi-

schen 5 und 7 m u. Fl. errichtet, um die Menge der durch die Arteserhavarie hier zuströmenden Wasser zu reduzieren. Die Einleitung des abgepumpten Wassers erfolgte wiederum in die Straßentwässerung.

Zur Kontrolle der Pumpmenge und Beobachtung des Grundwasserstandes während der geplanten Überbohrung des Artesers wurde von Brunnenbaumeister Hoppe zusätzlich eine temporäre Grundwassermessstelle (GWM) im GWLK 1 installiert. Mit dem Baugrundgutachten der WILAB GmbH u. Co. KG existierte ein wichtiger Anhaltspunkt zur Höhe des Grundwasserstandes vor der Havarie. Im Februar 2020, also ca. 11 Monate zuvor, wurde der Ruhewasserpegel an der 2. Baugrundbohrung bei 1,2 m u. Fl. festgestellt. Dank der präzisen Unterlagen konnte der Bohrpunkt schnell aufgefunden und hier die temporäre GWM errichtet werden.

Das Umweltamt des LK Barnim wurde über die laufenden Tätigkeiten informiert. Vertreter der Unteren Wasserbehörde des LK Barnim, sowie des Tiefbau- und Straßenverkehrsamtes der Stadt Eberswalde verschafften sich am 27. und 28.01.2021 einen Überblick zur aktuellen Situation auf der Baustelle.

Zweiter Versuch bei CPT 1

Der Einsatz der großen Bohranlage der Fa. Daus Schüler GmbH (Geräteführer: Brunnenbaumeister Olaf Linke) begann, wie zugesagt, am 27.01.2021. Mittels Schneckenbohrer, Ventilbohrer und ab 7,0 m u. Fl. mit Bohrkronen wurde die verrohrte Trockenbohrung (\varnothing 521 mm) an der havarierten Drucksondierung CPT 1 abgeteuft. Trotz Unterbrechung der Bohrarbeiten durch einen Defekt an der Bohranlage (Abriss Bohrgestänge), konnte der Arteser schließlich am 28.01.2021 gestoppt werden. Aufgrund von Steinhindernissen war die geplante Überbohrung der Schadstelle zwar nicht möglich, aber der über fünf Stunden wirkende Druck der ca. 17 t schweren Bohranlage verschloss offenbar den Arteseraustritt im unterlagerten Geschiebemergel. Nach mehrstündiger Beobachtung des nun gleichbleibenden Grundwasserstandes im GWLK 1 wurde entschieden, die Arbeiten bei CPT 1 zu beenden.

CPT 3

Nach den Unterlagen hatte die CPT 3 mit 16,77 m u. Fl. den Geringleiter ebenfalls durchörtert. Mit $2,6^\circ$ lag bei ca. 7 m u. Fl. hier die geringste Abweichung von der Lotrechten vor. Damit bestand eine hohe Wahrscheinlichkeit, die eventuell vorhandene Austrittsstelle eines Artesers an der Oberfläche des Geringleiters zu treffen. An der Geländeoberfläche war zwar kein Wasseraustritt wie bei CPT 1 festzustellen, was jedoch ein direktes Fluten des gespannten Grundwasserleiters (GWLK 2) in den unbedeckten Grundwasserlei-

ter (GWLK 1) nicht vollständig ausschließen konnte. Somit wurde die Bohranlage bei CPT 3 positioniert und die Bohrung mit \varnothing 521 mm lotrecht bis 8,6 m u. Fl. abgeteuft. Bei 7,6 m u. Fl. wurde, an dieser Stelle ohne Steinhindernisse, die Oberkante des Geschiebemergels angetroffen. Artesik wurde nicht festgestellt.

Zur Kontrolle des Grundwasserstandes wurde die Verrohrung über Nacht stehen gelassen und die Pumpen im unbedeckten Grundwasserleiter abgeschaltet. Ca. 16 h nach Abschalten der Pumpen wurden am nächsten Tag die Grundwasserstände an der temporären GWM sowie in der Schutzverrohrung der überbohrten CPT 3 gemessen. Beide Pegel lagen bei 1,21 m u. Fl. womit ein vergleichbarer Grundwasserstand zum o. g. Messwert vom Februar 2020 vor der Arteserhavarie vorlag. Ein weiterer Zustrom von Grundwasser aus dem GWLK 2 in den GWLK 1 konnte nicht festgestellt werden. Mit der Schüttung von Quellton zwischen 7,6 und 8,6 m u. Fl. wurde die ursprüngliche Schichtdicke des Geringleiters bei CPT 3 wieder hergestellt. Ein Überbohren der dritten Drucksondierung (CPT 2a) schien auf Basis der vorliegenden Daten nicht notwendig.

In Auswertung der Arteserhavarie auf dem Grundstück Breite Str. 17, Ecke Nagelstraße und der geologisch-hydrogeologischen Gesamtsituation wurde mit dem Bauherren darüber beraten, auf dem Grundstück eine feste GWM zu errichten, die bei zukünftigen Havarien im Bereich des südlichen Stadtkerns von Eberswalde als Kontroll-Pegel fungieren könnte. In Abstimmung mit der Unteren Wasserbehörde des LK Barnim konnte die Bohrung dafür noch am 29.01.2021 durch Fa. Brunnenbau S. Hoppe abgeteuft werden (Filterausbau im GWLK 1 bei 5,5–6,5 m u. Fl.). Die Kosten dafür übernahm der Bauherr. Die Folgemessungen des Grundwasserstandes an der provisorischen GWM bestätigten am 01.02. und 08.02.21 das Messergebnis vom 29.01.2021.

Schlusswort

Durch die enge und koordinierte Zusammenarbeit zweier Brandenburger Bohrunternehmen und dem Geologischen Dienst des Landes Brandenburg gelang es, die fremdverschuldete Arteserhavarie im Stadtzentrum von Eberswalde innerhalb von neun Tagen unter winterlich-widrigen Wetterbedingungen ohne größeren wirtschaftlichen Schaden abzuwenden. Da die anfallenden Wassermengen, die den GWLK 1 durch die Havarie geflutet hatten, über die Straßenentwässerung sicher abgeleitet wurden, bevor diese den Marktplatz unterhalb der Havariestelle erreichen konnten, blieb der Arteserunfall somit von der Öffentlichkeit weitgehend unbeachtet. Der bemerkenswerte Einsatz und die Fachkenntnisse der beteiligten Brunnenbaumeister Stefan Hoppe und Olaf Linke und deren Mannschaften verdienen Respekt und Anerkennung.

Zusammenfassung

In Gebieten mit gespannten Grundwasserverhältnissen sind Bohrungen nicht grundsätzlich verboten, sondern unter bestimmten Voraussetzungen ausführbar. Für Bohrunternehmen mit den entsprechenden Fachkenntnissen und technischer Ausrüstung ist Artesik durchaus beherrschbar. Besonders in urbanen Gebieten können Arteserhavarien große Schäden verursachen. Daher sind vor Eingriffen in den Boden durch Bohrungen, Sondierungen sowie Erdarbeiten, unbedingt alle verfügbaren Informationen zu den Untergrundverhältnissen beim zuständigen Geologischen Landesdienst abzufragen und die Arbeiten entsprechend zu planen und anzupassen. Am Beispiel eines Arteserunfalls im Altstadtgebiet von Eberswalde im Januar 2021 wird eine erfolgreiche Behebung der Havarie erläutert.

Summary

In areas with artesian groundwater conditions, drilling is not generally prohibited, but can be carried out under certain conditions. For drilling companies with the appropriate expertise and technical equipment, artesian accidents are quite controllable. Especially in urban areas, artesian accidents can cause great damage. Therefore, before intervening in the ground by drilling, probing or earthworks, it is essential to obtain all available information on the subsurface conditions from the responsible Geological Survey and to plan and adapt the work accordingly. The example of an artesian accident in the old town of Eberswalde in January 2021 is used to explain how the accident was successfully remedied.

Anschrift des Autors:

Dr. Norbert Schlaak
Landesamt für Bergbau, Geologie
und Rohstoffe Brandenburg (LBGR)
Dez. Geologische Landesaufnahme/Geoarchiv
Inselstraße 26
03046 Cottbus
E-Mail: norbert.schlaak@lbgr.brandenburg.de
Telefon: 0355 48640157

Brandenburg. Geowiss. Beitr.	Cottbus	Bd. 29/2022	S. 55–59	2 Abb., 28 Zit.
------------------------------	---------	-------------	----------	-----------------

Überraschender Fund von *Emys orbicularis* (LINNAEUS, 1758) aus dem Weichsel-kaltzeitlichen Rixdorfer Horizont der Kiessandgrube Niederlehme 2 (Königs Wusterhausen, Brandenburg)

A surprising record of *Emys orbicularis* (Linnaeus, 1758) from the Weichselian Rixdorf Horizon of the gravel sand pit Niederlehme 2 (Königs Wusterhausen, Brandenburg)

WOLF-DIETER HEINRICH & WERNER SCHULZ

1 Einleitung

Der Weichsel-kaltzeitliche Rixdorfer Horizont (RH) ist in Berlin und Brandenburg als Lagerstätte pleistozäner Säugetierreste seit dem frühen 19. Jahrhundert bekannt (WEISS 1829). Zu den ergiebigsten Fundstätten zählt die Kiessandgrube der Sand und Mörtelwerk GmbH in Königs Wusterhausen (Niederlehme 1), wo bereits vor mehr als 140 Jahren Zähne vom Mammut geborgen wurden (BERENDT 1882, LAUFER 1883). Weit weniger bekannt ist, dass auch in der benachbarten Kiessandgrube der Sand + Kies Union GmbH Berlin-Brandenburg (Niederlehme 2) seit mehreren Jahren pleistozäne Wirbeltierreste gesammelt werden. Unter diesen Funden fand sich völlig überraschend ein fossiler Schildkrötenrest, auf den im Folgenden näher eingegangen werden soll. Das Fundstück wird in der wirbeltierpaläontologischen Sammlung des Berliner Naturkundemuseums unter der Kat.-Nr. M.B.R.5745 aufbewahrt.

2 Herkunft des Fundes

Das Fundstück wurde aus dem RH der Kiessandgrube Niederlehme 2 geborgen, der im Wesentlichen von knochenführenden Schottern, steinigen Kiesen und grob- bis feinkörnigen Sanden aufgebaut wird. Die Mächtigkeit des RH schwankt zwischen 0,4 m und 4,0 m (HULTZSCH 1968). Das Liegende des RH bildet ein Geschiebemergel, dessen Mächtigkeit und Alter noch zu ermitteln sind. Über dem RH lagern teils horizontal-, teils schrägschichtete helle Mittel- und Feinsande, in die stellenweise geringmächtige Schluff- und Kieslagen, z. T. auch kleine Rinnen mit Grobsanden und Kiesen eingeschaltet sind. Die Mächtigkeit dieser Folge schwankt zwischen ca. 5,0 m und 7,0 m. Das Hangende der pleistozänen Schichtenfolge von Niederlehme 2 bildet ein bis zu 4,0 m mächtiger Geschiebemergel, der während der Brandenburger Phase der Weichsel-Kaltzeit abgelagert wurde (HULTZSCH 1968).

Der Fundpunkt des Schildkrötenrests lag im nördlichen Teil der Kiessandgrube Niederlehme 2, etwa 160 m SE vom Firmengebäude der Sand + Kies Union GmbH Berlin-Brandenburg entfernt (UTM 33 409633/5796486). Dort wurde von W. Schulz am 18.07.2006 das ca. 2,0 m lange und etwa 1,0 m hohe Geoprofil 4/06 im oberen Teil des RH freigelegt, das aus einer Wechsellagerung von steinigen Grob- und Mittelkiesen sowie Grob-, Mittel- und Feinsanden bestand. Der anfallende Aushub wurde vor Ort ausgesiebt und auf Fossilien durchgesehen, wobei der Schildkrötenfund zutage kam.

3 Kennzeichnung des Fundes

Bei dem Fundstück handelt es sich um eine unvollständig erhaltene, braun gefärbte Knochenplatte aus dem Rückenpanzer (Carapax) einer Europäischen Sumpfschildkröte (*Emys orbicularis*). Auf der konvexen Oberseite gibt es unregelmäßige seichte Vertiefungen (Abb. 1 a). Die konkave Unterseite ist fast völlig glatt (Abb. 1 d), der Außenrand der Knochenplatte nahezu vollständig erhalten (Abb. 1 a, d). Dagegen ist der mediale Plattenabschnitt, auf dem Schildfurchen vorhanden waren, nicht überliefert. Das Plattenfragment ist ca. 40 mm breit, 17 mm lang und etwa 3 mm dick. Wegen der bruchstückhaften Erhaltung läßt sich die tatsächliche Breite der Knochenplatte nicht mehr feststellen. Der Umriss des Fundstücks zeigt, dass ein Pleurale vorliegt (Abb. 2).

Vergleiche mit den Pleuralia eines subfossilen Rückenpanzers von *E. orbicularis* aus Kiel in Schleswig-Holstein (Panzerlänge: 18,0 cm) ergaben bessere Übereinstimmungen mit dem Pleurale 5 (Länge: 17,0 mm) als mit dem Pleurale 3 (Länge: 18,2 mm), und zwar nicht nur in den Abmessungen, sondern auch in der Ausbildung des lateralen Plattenrandes, über den einst die Verbindung zu den Randplatten (Peripheralia) erfolgte. Danach handelt es sich bei dem Fund von Niederlehme 2 wahrscheinlich um ein unvollständig erhaltenes rechtes Pleurale 5 (Abb. 2).

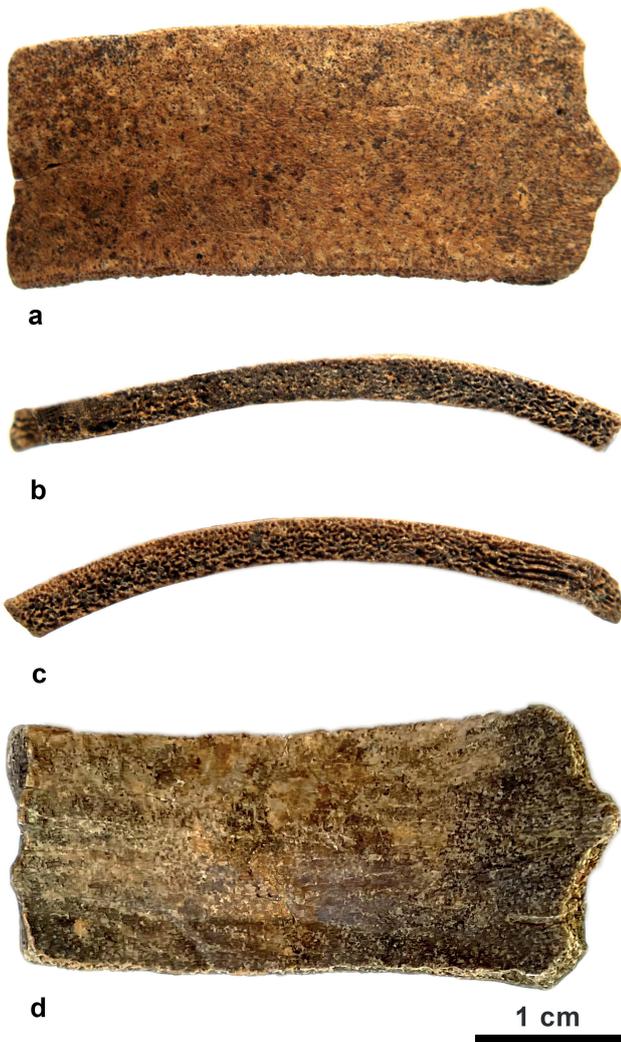


Abb. 1:
Fragmentarische Knochenplatte vom Rückenpanzer (Carapax) einer Europäischen Sumpfschildkröte (*Emys orbicularis*) aus dem weichselzeitlichen Rixdorfer Horizont von Niederlehme 2 in Königs Wusterhausen (Brandenburg). Bei dem Fundstück handelt es sich wahrscheinlich um ein rechtes Pleurale 5. Ansichten von oben (a), vorn (b), hinten (c) und unten (d) (Foto: V. Heinrich, 2022)

Fig. 1:
Fragmentary bone plate of the carapace of the European pond turtle (*Emys orbicularis*) from the Weichselian Rixdorf Horizon of Niederlehme 2 in Königs Wusterhausen (Brandenburg) in dorsal (a), anterior (b), posterior (c), and ventral (d) views. The specimen has been tentatively identified as right pleural 5. (Photo: V. Heinrich, 2022)

4 Auswertung und Schlußfolgerungen

Das Verbreitungsgebiet von *E. orbicularis* erstreckt sich heute vom westlichen Nordafrika über weite Teile Europas hinweg bis nach Westasien (SEIDEL & ERNST 2017). In Brandenburg werden Sümpfe, Moore und stehende oder langsam fließende, bewachsene Gewässer mit schlammigem Grund bewohnt (SCHNEEWEISS 2003). Überdies müssen sonnenexponierte Plätze für die Eiablage vorhanden sein. *E. orbicularis* ernährt sich vorwiegend räuberisch, Pflanzenkost spielt eine untergeordnete Rolle. Überwintert wird im Bodenschlamm der Wohngewässer. Die mittlere Temperatur des wärmsten Monats darf nach ULLRICH (2016) nicht unter 19° bis 20° C liegen. Bedeutsam für den Bruterfolg sind die Bodentemperaturen im Sommer. Nach SCHNEEWEISS (2003) liegen 20° bis 23° C bereits im unteren Temperaturbereich, in dem eine erfolgreiche Vermehrung erfolgen kann. In sonnigen, trockenen und warmen Sommern sind die Überlebensraten am höchsten; in kühlen regnerischen Sommermonaten mit wenig Sonnenschein am niedrigsten (SCHNEEWEISS 2003). Danach ist die Europäische Sumpfschildkröte ein wärmeliebendes

Reptil, dessen Verbreitung maßgeblich von den sommerlichen Bodentemperaturen bestimmt wird, worauf schon KURCK (1917) hinwies.

Diese Angaben passen gut zu paläontologischen Daten, die zeigen, dass *E. orbicularis* in Norddeutschland nur in Warmzeiten verbreitet war. In Brandenburg wird dies durch Funde aus dem Eem-Interglazial von Schönfeld (STRIEGLER & STRIEGLER 1983, STRIEGLER 1991), Klinge (NEHRING 1895; STRIEGLER 2008), Klein Lieskow (STRIEGLER 2008), Grötsch (STRIEGLER 2015) und Jänschwalde (z. B. RAUFUSS & BÖHME 2016, STRIEGLER 2016) sowie aus dem Holozän vom Schwielochsee/ Beesow (STRIEGLER 2008) und von Friesack (ULLRICH 2016) belegt. Bewiesen wird dies auch durch ein holozänes Vorkommen in Berlin-Tiergarten (SOMMER et al. 2011), vor allem aber durch zahlreiche subfossile Nachweise von *E. orbicularis* in Mecklenburg-Vorpommern (z. B. Hohen Viecheln, Triebsees, Parchim, Waren, Klützer Ort/Tankenhagen: KURCK 1917, LEHMKUHL 1989, ULLRICH 2016; Pisede bei Malchin: PETERS 1977; Pasewalk: KARL et al. 2012), in Schleswig-Holstein (z. B. Kiel, Bad Se-

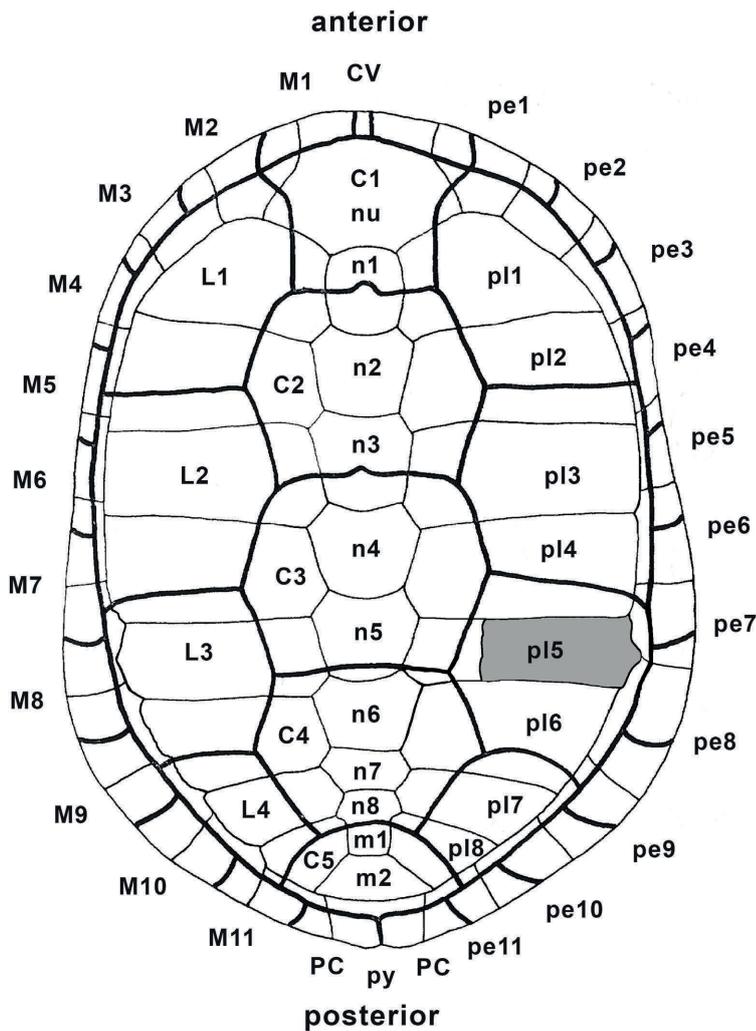


Abb. 2:
Schematische Darstellung eines Rückenpanzers (Carapax) der Europäischen Sumpfschildkröte (*Emys orbicularis*) aus dem Eem von Schönfeld in Brandenburg mit den Bezeichnungen der Knochenplatten und Hornschilder. Ansicht von oben. Die wahrscheinliche anatomische Position des Fundes von Niederlehme 2 ist dunkel hervorgehoben. Knochenplatten: m1–2: Metaneuralia, n1–8: Neuralia, nu: Nuchale, pe1–11: Peripheralia, pl1–8, Pleuralia, py: Pygale. Hornschilder: C1–5: Centralia, CV: Cervicale, L1–4: Lateralia, M1–11: Marginalia, PC: Postcentrale. Nach R. STRIEGLER (1991: Abb. 2, 12), verändert

Fig. 2:
Dorsal view of the carapace of the European pond turtle (*Emys orbicularis*) from the Eemian of Schönfeld in Brandenburg showing the terminology of the bone plates and horny scutes used in the text. The presumed position of the Niederlehme 2 specimen is highlighted in dark gray. Bone plates: m1–2: metaneurals, n1–8: neurals, nu: nuchal, pe1–11: peripherals, pl1–8, pleurals, py: pygal. Horny scutes: C1–5: centrals, CV: cervical, L1–4: laterals, M1–11: marginals, PC: postcentral. Source: R. STRIEGLER (1991: figs. 2, 12), modified

geberg, Fehmarn, Hopfenbach, Ellerbeck: KURCK 1917, WINKLER & SCHMÖLCKE 2005, SCHMÖLCKE & GLYKOU 2007) und in Südsandinavien (vgl. dazu zusammenfassend KURCK 1917, DEGERBØL & KROGH 1951, SOMMER et al. 2011).

In den genannten Vorkommen passen die warmzeitlichen Umweltbedingungen, die bei der Ablagerung der Fundschichten herrschten, gut zur Lebensweise von *E. orbicularis*. In Niederlehme 2 ist dies nicht der Fall, da die Europäische Sumpfschildkröte zu der Zeit, als die Weichsel-kaltzeitlichen Sedimente des RH abgelagert wurden, nicht in Brandenburg gelebt haben kann. Dies legt die Schlußfolgerung nahe, dass eine Knochenplatte aus Schichten der Eem- oder Holstein-Warmzeit vorliegt, die in der Weichsel-Kaltzeit von Schmelzwässern des Inlandeises in den RH umgelagert wurde. Nach ²³⁰Th/U- und Radiokarbon-Datierungen entstand der RH im benachbarten Niederlehme 1 wahrscheinlich während des Denekamp-Interstadials (HERMSDORF 2002). Ob dies auch für den RH von Niederlehme 2 zutrifft, ist noch zu untersuchen.

Wirbeltierreste, die aus interglazialen Ablagerungen in kaltzeitliche Schichten des RH umgelagert wurden, sind in Berlin und Brandenburg seit langem bekannt. Beispiele dafür sind Funde vom Waldelefanten (*Elephas antiquus*) aus Rixdorf und Britz (heute Berlin-Neukölln) sowie vom Waldnashorn (*Stephanorhinus kirchbergensis*) und Damhirsch (*Dama dama*) aus Rixdorf und Niederlehme 1 (z. B. SCHROEDER 1927, 1930; DIETRICH 1932; HEINRICH 1992, 2022). Allerdings ist bisher noch nie ein warmzeitliches Reptil im RH nachgewiesen worden. Die Bearbeitung der Wirbeltierfunde von Niederlehme 2 steht noch aus. Skelettreste von kaltzeitlichen Säugetieren (z. B. *Mammuthus primigenius*, *Coeleodonta antiquitatis*, *Rangifer tarandus*) und der Nachweis der wärmeliebenden Europäischen Sumpfschildkröte zeigen aber bereits jetzt, dass auch im RH von Niederlehme 2 eine Mischfauna vorliegt, deren Funde ein sehr unterschiedliches geologisches Alter besitzen können.

Zusammenfassung

Aus dem Weichsel-kaltzeitlichen Rixdorfer Horizont der Kiessandgrube Niederlehme 2 in Königs Wusterhausen (Brandenburg) wird eine fragmentarische Knochenplatte aus dem Rückenpanzer (Carapax) einer Europäischen Sumpfschildkröte (*Emys orbicularis*) beschrieben. Bei dem Fund handelt es sich wahrscheinlich um ein unvollständig erhaltenes rechtes Pleurale 5. *Emys orbicularis* ist ein thermophiles Reptil, das in Norddeutschland nur in Warmzeiten verbreitet war. Daher ist anzunehmen, dass die Knochenplatte aus Schichten der Eem- oder Holstein-Warmzeit in die Schmelzwassersedimente des Rixdorfer Horizontes von Niederlehme 2 umgelagert wurde.

Summary

A fragmentary bone plate from the dorsal carapace of the European pond turtle (*Emys orbicularis*) is reported from the Weichselian Rixdorf Horizon of the gravel sand pit Niederlehme 2 at Königs Wusterhausen (Brandenburg). The specimen is tentatively identified as right pleural 5. *Emys orbicularis* is a thermophile reptile that occurred in northern Germany only during warm periods. It is suggested that the bone plate was re-deposited from of Eemian or Holsteinian sediments into the Rixdorf Horizon of Niederlehme 2 by melt-waters of Weichselian inland ice glaciers.

Danksagung

Wir danken herzlich Herrn P. Genterczewsky, Sand + Kies Union GmbH Berlin-Brandenburg, für die Unterstützung bei den Geländearbeiten und Herrn Dipl.-Geol. R. Striegler und Herrn Dr. N. Schlaak (beide Cottbus) für Hinweise zum Manuskript sowie Frau V. Heinrich und Herrn Dr. O. Hampe (beide Berlin) für die Hilfe bei der Anfertigung der Abbildungen.

Literatur

- BERENDT, G. M. (1882): Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte von Preußen und der Thüringischen Staaten. – Lfg. 20, Blatt Tempelhof, 50 S.
- DEGERBØL M. & H. KROGH (1951): Den europæiske Sumpskildpadde (*Emys orbicularis* L.) i Danmark. En zoologisk og geologisk undersøgelse af danske postglacial fund deres betydning for bedømmelsen af temperaturforholdene i forhistorisk tid. – Danmarks geol. Undersøg. II, R. 78, S. 1–130
- DIETRICH, W. O. (1932): Über den Rixdorfer Horizont im Berliner Diluvium. – Z. dtsh. geol. Ges. 84, 4, S. 193–221
- HEINRICH, W.-D. (1992): „Rixdorfer Horizont“ von Niederlehme bei Königs wusterhausen. – Exkursionsführer zur 62. Jahrestagung der Paläont. Ges. in Berlin 1992, 57 S. Berlin (Institut für Paläontologie der Humboldt-Universität)
- HEINRICH, W.-D. (2022): Eiszeitliche Säugetiere aus der Kiessandgrube Niederlehme 1 in Königs Wusterhausen (Land Brandenburg) - Beiträge Walter Kirsches zur Paläontologie. – In: HÖXTERMANN, E., SONNENBERG, H. & G. GROSSE (Hersg.): Das Buch der Natur. Erinnerungen an Walter Kirsche (1920-2008), S. 282–307, Rangsdorf (Basilisken-Press, Natur+Text GmbH)
- HERMSDORF, N. (2002): Neue Daten zur Altersstellung des Rixdorfer Horizontes von Niederlehme. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. 9, 1/2, S. 44
- HULTZSCH, A. (1968): Gutachten, Vorerkundung Kalksandsteinrohmaterial Niederlehme 1967. – VEB GFE, BT. Berlin (unveröff.)
- KARL, H.-V., KARL, K. & W. BROSE (2012): Geschichte der Europäischen Sumpfschildkröte in Deutschland 1: Zur Verbreitungsgeschichte der Europäischen Sumpfschildkröte - *Emys orbicularis* (L., 1758) - in Mecklenburg-Vorpommern und die Beschreibung eines historischen Fundes aus Pasewalk. – Mainzer naturwiss. Archiv 49, S. 25–35
- KURCK, C. (1917): Den forntida utbredningen af kärrsköldpaddan, *Emys orbicularis* (LINN.), i Sverige, Danmark och angränsande länder. – Lunds Univ. Aarskr., N.F., Avd. 2, 13, 9, S. 1–129
- LAUFER, E. (1883): Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte von Preußen und der Thüringischen Staaten, Lieferung 26, Blatt Königs-Wusterhausen, 24 S.
- LEHMKUHL, U. (1989): Meso- und neolithische Funde der Europäischen Sumpfschildkröte (*Emys orbicularis* L.) im Norden der DDR. – Ausgr. u. Funde 34, S. 107–112
- NEHRING, A. (1895): Ueber Wirbelthierreste von Klinge. Vorläufige Zusammenstellung. – N. Jb. Min. Geol. Pal. 1895, I, S. 183–208
- PETERS, G. (1977): Die Reptilien aus den fossilen Tierbautensystemen von Pisede bei Malchin. Teil 1: Analyse des Fundgutes. – Wiss. Z. Humboldt-Univ. Berlin, Math.-Naturwiss. R., 26, S. 307–320
- RAUFUSS, I. & G. BÖHME (2016): Die Wirbeltierfunde von Jänschwalde bei Cottbus – Faunenwandel am Übergang von der Saale-Kaltzeit zur Eem-Warmzeit. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. 22 (2015), 2 / Arbeitsber. Bodendenkmalpfl. Brandenburg 28 (2016), Sonderband 2016, S. 141–158

- SCHMÖLCKE, U. & A. GLYKOU (2007): Pelikane, Schildkröten, Störe und Sattelrobben in Schleswig-Holstein: Exotik an der steinzeitlichen Ostsee. – Schrift. Naturwiss. Ver. Schleswig-Holstein 69, S. 41–52
- SCHNEEWEISS, N. (2003): Demographie und ökologische Situation der Arealrandpopulationen der Europäischen Sumpfschildkröte (*Emys orbicularis* LINNAEUS, 1758) in Brandenburg. – Studien- und Tagungsberichte Landesumweltamt Brandenburg 46, S. 1–105
- SCHROEDER, H. (1927): Über *Elephas antiquus* und *trogotherii* aus dem Diluvium der Mittelmark. – Jahrb. Preuß. Geol. Landesanst. 48, S. 699–723
- SCHROEDER, H. (1930): Über *Rhinoceros mercki* und seine nord- und mitteldeutschen Fundstellen. – Abh. Preuß. Geol. Landesanst., N. F., 124, S. 1–111
- SEIDEL, M. E. & C. H. ERNST (2017): A systematic review of the turtle family Emydidae. – Vertebrate Zoology 67, 1, S. 1–122
- SOMMER, R. S., FRITZ, U., SEPPÄ, H., EKSTRÖM, J., PERSSON, A. & R. LILJEGREN (2011): When the pond turtle followed the reindeer: Effect on the last extreme warming event on the timing of faunal change in Northern Europe. – Global Change Biology 17, 6, S. 2049–2053
- STRIEGLER, R. (1991): Die Europäische Sumpfschildkröte (*Emys orbicularis*) im Eem von Schönfeld. – Natur und Landschaft in der Niederlausitz, Sonderheft: Eem von Schönfeld I, S. 130–168
- STRIEGLER, R. (2008): Die Europäische Sumpfschildkröte (*Emys orbicularis*) in den Eem-Interglazialen von Klinge und Klein Lieskow bei Cottbus. – Natur und Landschaft in der Niederlausitz 27, S. 107–121
- STRIEGLER, R. (2015): Fossilfunde aus dem großen Eem-Vorkommen von Grötsch bei Cottbus. – Natur und Landschaft in der Niederlausitz 31, S. 3–15
- STRIEGLER, R. (2016): Die Europäische Sumpfschildkröte (*Emys orbicularis*) im Eem von Jänschwalde, Niederlausitz. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. 22 (2015), 2 / Arbeitsber. Bodendenkmalpfl. Brandenburg 28 (2016), Sonderband 2016, S. 183–186
- STRIEGLER, R. & U. STRIEGLER (1983): Fossile Sumpfschildkröte (*Emys orbicularis*) aus Seeablagerungen der Eem-Warmzeit bei Schönfeld, Kreis Calau. – Biol. Stud. 12, S. 43–54
- ULLRICH, H. (2016): Sumpfschildkrötenreste aus der mesolithischen Siedlung Friesack. – Arbeitsber. Bodendenkmalpfl. Brandenb. 29, S. 178–186
- WEISS, C. S. (1829): Ueber das Vorkommen von Ueberresten des fossilen Elephanten oder Mammuths in den Umgebungen von Berlin. – Archiv. Min. Geogn. Bergb. u. Hüttenkde. 1, S. 392–399
- WINKLER, C. & U. SCHMÖLCKE (2005): Arealgeschichte der Amphibien und Reptilien Schleswig-Holsteins. In: Landesamt für Natur- und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein (Hrsg.), Atlas der Amphibien und Reptilien Schleswig-Holsteins. – S. 177–195

Anschriften der Autoren

Dr. sc. nat. Wolf-Dieter Heinrich
Museum für Naturkunde – Leibniz-Institut
für Evolutions- und Biodiversitätsforschung
Invalidenstr. 43
10115 Berlin
E-Mail: wolf-dieter.heinrich@mfn.berlin

Werner Schulz
Brandenburgisches Landesamt für Denkmalpflege
und Archäologisches Landesmuseum
Wünsdorfer Platz 4
15806 Zossen Ortsteil Wünsdorf
E-Mail: W_Schulz@web.de

100 Jahre Geologie von Brandenburg

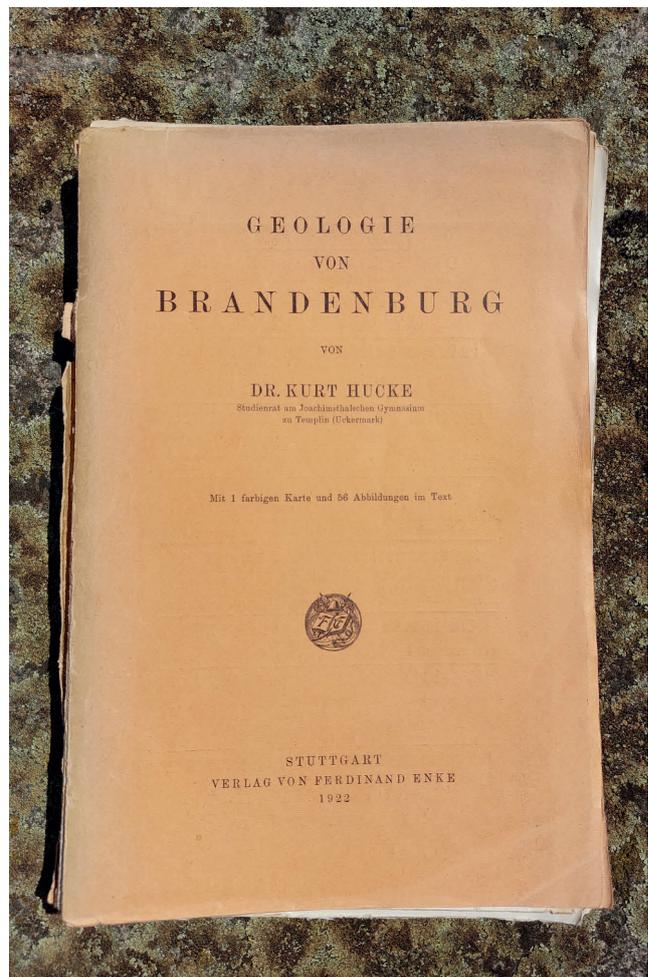
Im Jahr 1922 erschien als erste zusammenfassende Darstellung die *Geologie von Brandenburg* von Dr. Kurt Hücke. Der Ferdinand Enke Verlag Stuttgart hatte damals bereits erhebliche Reputation durch die Herausgabe naturwissenschaftlicher Literatur erworben und verlegte das mit einer farbigen Karte und 56 Abbildungen im Text ausgestattete Buch, das insgesamt 352 Seiten umfasst. Interessant ist dabei, dass diese regionalgeologische Darstellung nicht von einem der führenden Geologen der Preußischen Geologischen Landesanstalt (PGLA) geschrieben wurde, sondern von einem Studienrat am Joachimsthalschen Gymnasium zu Templin (bis 1912 in Berlin angesiedelt), was nicht gegen die Mitarbeiter der in dieser Zeit Weltruf genießenden PGLA spricht, sondern für das selbstverständliche naturwissenschaftliche Engagement der damaligen Studienräte. Natürlich hat sich in den 100 Jahren seit dem Erscheinen der Hücke'schen Geologie von Brandenburg unser Kenntnisstand zur Landesgeologie sehr deutlich erweitert; man denke nur an den extremen Kenntnisgewinn aus der Vielzahl von Bohrungen, deren tiefste, die Bohrung Pröttlin, sogar bis 7008 m vorstieß. Nein, die Hücke'sche Landesgeologie (damals der preußischen Provinz Brandenburg, einschließlich der östlich der Oder gelegenen Gebiete) musste mit oberflächennahen Aufschlüssen und weniger tiefen Bohrungen vorliebnehmen. Den Fortschritt seit der Herausgabe des Buches im Jahr 1922 dokumentiert u. a. die 2015 erschienene neue Geologie von Brandenburg, diesmal vom Verlag Schweizerbart verlegt und mehr als 800 Seiten stark.

Hat Huckes *Geologie von Brandenburg* für uns heute noch eine Bedeutung? Die Frage lässt sich mit einem klaren JA beantworten, weil sie zahlreiche Befunde auch für aktuelle Interpretationen bewahrt, die ansonsten unweigerlich verloren wären. Man denke nur an die vielen und gut beschriebenen, damals entstandenen Aufschlüsse aus der aufblühenden Zeit der Nutzung oberflächennaher Rohstoffe, an die noch wenig anthropogen beeinträchtigten hydrographischen Verhältnisse, an Wertschöpfungsketten, die meist noch regional organisiert waren und die im Ergebnis der Globalisierung so nicht mehr vorhanden sind.

Doch die Fortschritte im geologischen Wissen über die Erde hatten auch sehr positive Rückkopplungen. Mit den modernen Vorstellungen zur Erddynamik hat sich unser Verständnis zur Bildung des großen Beckensystems Norddeutschlands, dessen zentrale Senkungsachse quer durch Brandenburg zieht und zu deren neotektonischen Beanspruchungen, deutlich verbessert. Und nicht zuletzt sollte man den Status-Report Kurt Huckes zur Geologie Bran-

denburgs als einen wichtigen Monitoring-Baustein heranziehen, um den Einfluss von Zeit und Menschheit auf die gegenwärtigen Verhältnisse besser abschätzen zu können – erst recht, wenn die alten Befunde mit den Fortschritten in der Stratifizierung der brandenburgischen Schichtenfolgen verglichen werden. Wohl dem, der noch Zugriff auf diesen ersten Grundstein zur Geologie von Brandenburg von Kurt Hücke hat. Das würdige Bewahren alter Beobachtungen ist wichtig, aber das Schaffen neuer Befunde zwingend erforderlich.

Werner Stackebrandt, Potsdam



Neue Struktur des UNESCO Global Geoparks Muskauer Faltenbogen/Łuk Mużakowa gegründet

New structure of the UNESCO Global Geopark Muskauer Faltenbogen/Łuk Mużakowa established

Zusammenfassung

Ende 2021 gründete der UNESCO Global Geoparks Muskauer Faltenbogen/Łuk Mużakowa mit dem „Europäischen Verbund für territoriale Zusammenarbeit mit beschränkter Haftung Deutsch-Polnischer Geopark Muskauer Faltenbogen“ (EVTZ mbH Geopark Muskauer Faltenbogen) eine juristisch und finanziell unabhängige Betreiberstruktur. Damit erfüllte der Geopark eine Forderung der UNESCO zur Schaffung einer „starken Geoparkstruktur“ (strong management structure) für den transnationalen Geopark. Dies eröffnet neue Möglichkeiten für seine künftige Entwicklung.

Summary

At the end of 2021, the UNESCO Global Geoparks Muskauer Faltenbogen/Łuk Mużakowa established a legally and financially independent operating structure with the “European Grouping for Territorial Cooperation with Limited Liability German-Polish Geopark Muskauer Faltenbogen” (EVTZ mbH Geopark Muskauer Faltenbogen). In doing so, the Geopark fulfilled a UNESCO requirement to create a “strong management structure” for the transnational Geopark. This opens up new possibilities for future development.

Nach einer längeren Findungsphase beginnend 1994 entschloss sich eine kleine Gruppe von Initiatoren aus Brandenburg, Sachsen und Polen in der naturräumlichen Landschaft des Muskauer Faltenbogen einen länderübergreifenden, deutsch-polnischen Geopark aufzubauen. Eine frühe, hochrangige Unterstützung fand das Vorhaben 1998/1999 in der Gemeinsamen Landesplanungsbehörde Berlin Brandenburg im damaligen Ministerium für Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg (MNUR). Um die Jahreswende 2003/2004 wurden in Łęknica (Wojewodschaft Lebus Land) und Jerischke (Gemeinde Neiße-Malxetal, Brandenburg) als Trägerstruktur zwei inhaltlich gleichlautende Fördervereine zum Aufbau des Geoparks gegründet (Stowarzyszenie Łuk Mużakowa und Förderverein Geopark Muskauer Faltenbogen e.V.) und für ihre gemeinsame Tätigkeit durch einen Kooperationsvertrag miteinander verbunden. Finanziert wurde der Geopark bis Ende 2021 durch Fördermittel sowie teilweise durch Mitgliedsbeiträge der beiden Vereine und Spenden. Erschwert wurde diese Entwicklungsphase insbesondere dadurch, dass der Geopark eine bottom up-

Struktur ist, die auf einer „Initiative von unten“ beruht, und in beiden Ländern keine gesetzliche Grundlage besitzt.

2006 wurde der Geopark als siebenter Nationaler Geopark Deutschlands anerkannt. Die Nominierung für diese Auszeichnung erfolgte ausdrücklich für den gesamten, unteilbaren deutsch-polnischen Geopark. Da es für die Transnationalität keine Regelung gab, bezieht sich der Nationale Geopark Deutschlands jedoch nur auf den deutschen Teil. 2009 wurde der polnische Teil des Geopark erster Nationaler Geopark von Polen überhaupt.

Um ein gemeinsames Geoparkdach zu schaffen, wurde nachfolgend die Aufnahme in das European Geoparks Network (EGN) vorangetrieben. Maßgeblich gefördert wurde diese Entwicklungsphase, besonders auch seiner Transnationalität wegen, durch die Internationale Bauausstellung Fürst-Pückler-Land als ein offizielles IBA-Projekt. Im Ergebnis dessen wurde der Muskauer Faltenbogen 2011 als 43. Geopark in das Europäische Geoparknetzwerk aufgenommen. Verbunden damit war gleichzeitig die Mitgliedschaft im unter der Schirmherrschaft der UNESCO stehenden Global Geoparks Network (GGN). 2015 etablierte die UNESCO Geoparks neben dem Welterbe (World Heritage) und den Biosphärenreservaten (Biosphere Reserves) als dritte UNESCO-Flächendestination. Dies geschah durch die Schaffung des International Geoscience and Geoparks Programme (IGGP). Hier wurde der Muskauer Faltenbogen Gründungsmitglied, d.h. UNESCO Global Geopark.

Verbunden mit dem offiziellen UNESCO-Status forderte die UNESCO im Rahmen der turnusmäßigen, aller vier Jahre stattfindenden Geopark-Revalidierung die Schaffung einer „starken Geoparkstruktur“ (strong management structure), d.h. einer strukturell und finanziell von zeitlich begrenzten Fördermitteln unabhängige, transnationale Geoparkorganisation. Nach eingehender juristischer Prüfung kam dafür nur ein Europäischer Verbund für Territoriale Zusammenarbeit (EVTZ) gemäß EVTZ-Verordnung (EG) Nr. 1082/2006 in Frage. Im Ergebnis eines intensiven und komplizierten Gründungsprozesses wurde am 24.11.2021 der „Europäische Verbund für territoriale Zusammenarbeit mit beschränkter Haftung Deutsch-Polnischer Geopark Muskauer Faltenbogen“ (EVTZ mbH Geopark Muskauer Faltenbogen) gegründet. Er hat seinen Sitz in 03159 Neiße-Malxetal, Klein Kölzig, An der Ziegelei 1 (Abb. 1).

Der EVZT mbH hat 14 Mitglieder (Kommunen, Landkreise und die Wojewodschaft Lebus Land). Auf politischer Seite wurde die Gründung maßgeblich durch die Regierungen des Freistaates Sachsen, des Landes Brandenburg und der Wojewodschaft Lebus Land unterstützt. Die offizielle Übergabe des UNESCO Global Geoparks von der Fördervereinsstruktur an den EVZT erfolgte am 12. Mai

2022 im Rahmen des 7. Politischen Spitzentreffen der Oder-Partnerschaft in Anwesenheit der Ministerpräsidenten von Brandenburg und Sachsen sowie der Marschallin der Województwo Lubuskie (Wojewodschaft Lebus Land) in Zielona Góra. (Abb. 2). Die offizielle EVZT-Gründungsfeier erfolgte am 9. September 2022 in der Ziegelei Klein Közlitz (Abb. 3).



*Abb. 1:
Die Alte Ziegelei in Klein Közlitz ist der Sitz des EVZT mbH Geopark Muskauer Faltenbogen und seiner Geschäftsstelle,
Foto: Klein Közlitzer Ziegeleibahn e.V.*

*Fig. 1:
The Historical Brickworks in Klein Közlitz is the headquarters of the EVZT mbH Geopark Muskauer Faltenbogen and its office,
photo: Klein Közlitzer Ziegeleibahn e.V.*



Abb. 2: Übergabe der Geoparkurkunden vom Geopark-Förderverein an den EVZT mbH Geopark Muskauer Faltenbogen am 12. Mai 2022 in Zielona Góra, v. l. n.r.: Elżbieta Polak, Marschallin der Wojewodschaft Lebus Land; Tadeusz Jędrzejczak, Vorsitzender des EVZT; Dietmar Woidke, Ministerpräsident des Landes Brandenburg; Piotr Kuliniak, Bürgermeister der Stadt Łęknica; Michael Kretschmer, Ministerpräsident des Freistaates Sachsen; Torsten Pötzsch, 1. Stellv. Vors. des EVZT und Oberbürgermeister der Großen Kreisstadt Weißwasser/O.L.; Detlef Nickel, Vorstandsmitglied des Fördervereins Geopark Muskauer Faltenbogen e.V.; Heiko Lichnok, Vorstandsmitglied des Fördervereins Geopark Muskauer Faltenbogen e.V. und Geschäftsführer der Waldeisenbahn Muskau; Harald Altekrüger, 2. Stellv. Vors. des EVZT und Landrat des Landkreises Spree-Neiße in Brandenburg, Foto: Paweł Sonowski

Fig. 2: Handover of the Geopark documents from the Geopark Support Association to the EGTC mbH Geopark Muskauer Faltenbogen on 12 May 2022 in Zielona Góra, from left to right: Elżbieta Polak, Marschallin der Wojewodschaft Lebus Land; Tadeusz Jędrzejczak, Vorsitzender des EVZT; Dietmar Woidke, Ministerpräsident des Landes Brandenburg; Piotr Kuliniak, Bürgermeister der Stadt Łęknica; Michael Kretschmer, Ministerpräsident des Freistaates Sachsen; Torsten Pötzsch, 1. Stellv. Vors. des EVZT und Oberbürgermeister der Großen Kreisstadt Weißwasser/O.L.; Detlef Nickel, Vorstandsmitglied des Fördervereins Geopark Muskauer Faltenbogen e.V.; Heiko Lichnok, Vorstandsmitglied des Fördervereins Geopark Muskauer Faltenbogen e.V. und Geschäftsführer der Waldeisenbahn Muskau; Harald Altekrüger, 2. Stellv. Vors. des EVZT und Landrat des Landkreises Spree-Neiße in Brandenburg, photo: Paweł Sonowski



Abb. 3.: Festveranstaltung zur Gründung des EVTZ mbH am 9. September 2022 in der Ziegelei Klein Kölzig, links: Festredner Dr. Lutz Möller, Stellv. Generalsekretär der Deutschen UNESCO-Kommission, im Präsidium v. l. n. r.: Jobst-Hinrich Ubbelohde, Staatssekretär für Europa und Beauftragter für Brandenburgisch-Polnische Beziehungen im Ministerium der Finanzen und für Europa des Landes Brandenburg (MdFE); Sebastian Hecht, Leiter Geschäftsbereich Kultur und Tourismus im Sächsischen Staatsministerium für Wissenschaft, Kultur und Tourismus (SMWK); Radosław Brodzik, Direktor des Amtes für ausländische und europäische territoriale Zusammenarbeit der Wojewodschaft Lebuszer Land, Foto: Geopark

Fig. 3: Ceremonial event for the foundation of the EGTC mbH on 9 September 2022 at the Klein Kölzig brickworks, left: Keynote speaker Dr. Lutz Möller, Deputy Secretary General of the German UNESCO Commission in the Presidium from left to right: Jobst-Hinrich Ubbelohde, State Secretary for Europe and Commissioner for Brandenburg-Polish Relations in the Ministry of Finance and Europe of the State of Brandenburg (MdFE); Sebastian Hecht, Head of the Culture and Tourism Division in the Saxon State Ministry for Science, Culture and Tourism (SMWK); Radosław Brodzik, Director of the Office for Foreign and European Territorial Cooperation of the Lubuskie Voivodeship, photo: Geopark

Der organisatorische Aufbau des EVTZ gestaltete sich in wichtigen Fragen kompliziert, weil die EVTZ-Verordnung inhaltlich nicht in deutsches Recht umgesetzt ist. Seit Mitte 2022 ist dieser Prozess in wesentlichen Punkten abgeschlossen. Diese Transformation war in der arbeitstäglichen Tätigkeit der Geoparkgeschäftsstelle in ihrer Außenwirkung nicht sichtbar. Unabhängig von der formalen Trägerschaft verfügt der Geopark über eine gemeinsame deutsch-polnische Geschäftsstelle mit deutschen und polnischen Mitarbeiter*innen in der historischen Ziegelei Klein Kölzig sowie ein Bildungs- und Kulturzentrum UNESCO Global Geopark Muskauer Faltenbogen in Łęknica. Die Ziegelei wurde nach Sicherungsarbeiten 2008/2009 und einer umfangreichen Rekonstruktion einschließlich Innenausbau 2019/2020 am 23. April 2020 in ihrem heutigen Zustand fertiggestellt. Zur Erfüllung der Aufgaben des Geoparks verfügt das Haus über einen großen Vortragsraum (Abb. 4), eine Geoparkausstellung und

eine touristische Infrastruktur (rekonstruierter und begehbarer Hoffmannscher Ringbrandofen, eine touristisch genutzte Ziegeleibahn (<http://www.ziegeleibahn-klein-koelzig.de/>). Weitere Außenanlagen befinden sich im Aufbau und werden bis 2024 fertiggestellt sein. Das Geoparkzentrum auf der polnischen Seite ist das Bildungs- und Kulturzentrum UNESCO Global Geopark Muskauer Faltenbogen in Łęknica. Es ist ein historisches Gebäude, das ehemals zu einem Ziegeleibetrieb gehörte und zwischenzeitlich verschiedene Nachnutzungen erlebte. 2020/2021 wurde es grundlegend umgebaut und für seinen heutigen Zweck rekonstruiert. Am 3. Dezember 2021 wurde es in einer Feierstunde mit begrenzter Teilnehmerzahl eröffnet (Abb. 6). Es umfasst ein Büro für den EVTZ mbH und den polnischen Geopark-Förderverein, einen Projektraum (Abb. 4), einen Vortragssaal, eine Gaststätte sowie einen modernen Kinderspielplatz im Außenbereich. Eine Erweiterung der Außenanlagen befindet sich in Planung.



Abb. 4:
Vortragsraum in der
Ziegelei Klein Kölzig,
Foto: Geschäftsstelle

Fig. 4:
Conference room at the
Klein Kölzig brickworks,
photo: office



Abb. 5:
Außenansicht des Bildungs-
und Kulturzentrum des
UNESCO Global Geoparks
Muskauer Faltenbogen
in Łęknica,
Foto: Bildungs- und
Kulturzentrum in Łęknica

Fig. 5:
Exterior view of the
UNESCO Global Geopark
Muskau Arch Education and
Cultural Centre in Łęknica,
photo: Education and
Cultural Centre in Łęknica



Abb. 6: Schulkinder bei der Projektarbeit mit Ton- und Holzmaterialien in Łęknica, Foto: Bildungs- und Kulturzentrum in Łęknica

Fig. 6: Schoolchildren working on a project with clay and wooden materials in Łęknica, photo: Educational and Cultural Centre in Łęknica

Autoren:

Dr. Manfred Kupetz
Förderverein Geopark Muskauer Faltenboegn e.V.
c/o Schulweg 1a
03055 Cottbus
E-Mail: manfred.kupetz@t-online.de

Dipl.-Geogr. Nancy Sauer
Direktorin EVTZ mbH Geopark Muskauer Faltenbogen
Klein Kölzig
An der Ziegelei 1
03159 Neiße-Malxetal
E-Mail: n.sauer@muskauer-faltenbogen.de

Die traditionelle 1. Mai-Exkursion des Vereins der Geowissenschaftler BB – Geologie des Fläming

Die traditionelle geologische 1. Mai-Exkursion des Vereins der Geowissenschaftler in Berlin und Brandenburg e.V. konnte nach längerer Unterbrechung im Jahr 2022 wieder stattfinden!

Die Exkursion wurde mit über 30 Teilnehmern gut besucht. Zu Beginn, am Treffpunkt in Rottstock, war die Vorfreude auf die Exkursion deutlich zu spüren.

Das persönliche Treffen, der fachliche Austausch sowie die direkten Erläuterungen und Erklärungen des Exkursionsführers, dies hatte lange gefehlt.

Geführt wurde die diesjährige Exkursion von Werner Stackebrandt – ein sehr sachkundiger, berufener und begeisterter Exkursionsführer. Unterstützt wurde er durch seine Frau Gabi Stackebrandt.

Unter den Teilnehmern waren viele bekannte Gesichter aus unserem Verein. Aber auch einige Neulinge und Gäste, z. B. aus Sachsen-Anhalt.

Werner Stackebrandt brachte einen informativen Exkursionsführer als Handreichung mit: „Geologische Wanderungen im Hohen Fläming am 1. Mai 2022, zusammengestellt von Werner Stackebrandt, Potsdam“. Auf 11 Seiten werden darin das Altmoränengebiet Hoher Fläming fachlich eingeordnet und die zu besuchenden Exkursionspunkte näher beschrieben. Dabei flossen neben den Beschreibungen und fachlichen Erläuterungen auch Anekdoten aus langjähriger Erfahrungen gepaart mit Witz ein.

Der erste Exkursionspunkt war das Quellgebiet Gesundbrunnen. Die Schüttung beträgt etwa 70–90 l/s. Der Gesundbrunnen – das ist kein punktueller Austritt, sondern vielmehr ein flächenhaftes, sehr abwechslungsreiches Quellgebiet mit 30 bis 40 Quellbereichen in einem mehr als 100 m großen Kessel. Ich habe das Wasser probiert – schmeckt gut. Der Eisengehalt färbt das Quellwasser und das Quellbett leicht ockerfarben, doch bereits nach wenigen Metern ist es wieder fast klar, durchströmt später eine Forellenzuchtanlage und ergießt sich alsbald in die Buckau und später in die Havel. Der Gesundbrunnen ist der flächenmäßig größte Quellsessel Brandenburgs und er ist wirklich sehenswert. Man kann das auf Seite 119 im Buch STACKEBRANDT, W. (2020): Mehr als nur die Streusandbüchse – Zur Erdgeschichte von Brandenburg, erschienen im geogen (Eigen-)Verlag, Potsdam nachlesen, welches ich hier insgesamt empfehlen möchte.

Gerade im Zuge der derzeitigen Klimaerwärmung auch hier im Brandenburger Raum, mit der Folge einer höheren Verdunstung und somit geringeren Grundwasserneubildung, sind solche Quellgebiete in den nächsten Jahrzehnten betroffen.

Danach ging es in die Brautrummel bei Grubo mit ihren großen, langgestreckten und verzweigten Erosionstälern. Der Exkursionsführer, der ja eher in tektonischen Zeitdimensionen schwelgt, erläuterte die Zusammenhänge. Im anfangs erwähnten Exkursionsführer wird ausgeführt:



Abb. 1:
Exkursionspunkt
Schollenstein in der
Brautrummel,
Foto: K. Schubert



Abb. 2: Exkursionspunkt Riesenstein, Foto: A. Ehling

„Die Fläming-Rummeln sind Trockentäler, deren Bildung periglaziär, während der Weichsel-Kaltzeit, begann und die auch durch holozäne Starkregenereignisse weiter ausgeformt wurden; Rodungsperioden spielten hierfür eine besondere Rolle.“ Die bis etwa 10 m tiefe Brautrummel ist stark verzweigt und erstreckt sich über eine Fläche von 7,8 ha. Erstaunlich ist hier das Vorkommen eines periglazial gebildeten und damit sehr jungen Festgesteins, dem Schollenstein (Abb. 1). In der Rummel existierten offenbar auch Schichtwasseraustritte, an welchen es durch die Änderung des Grundwasserszustandes hinsichtlich u. a. Temperatur und Sauerstoffgehalt zur Kalkausfällung und damit verbunden zur Konkretionsbildung in den hier anstehenden ehemaligen Dünensanden gekommen ist. Diese präsentieren sich heute wie eine Sandsteinformation, in der man auch gut Bereiche mit typischer Schrägschichtung erkennen kann. Interessant wären hier exakte Altersbestimmungen und damit die Abschätzung des Zeitraumes der Bildung der Schollensteine.

Das nächste Ziel war der Findling Riesenstein. Der ist so was von geeignet für ein Gruppenfoto, wurde der extra dafür so hingelegt? Wir passten geradeso darauf (Abb. 2). Es ist ein Ålandgranit mit einem Volumen von über 35 m³ mit wunderschönen großen Feldspäten.

Zum Abschluss konnten wir uns von der Burg Rabenstein, oben vom Turm mit weitem Blick über die Landschaft davon überzeugen, dass die Altmoränenlandschaft eben doch recht verflacht ist.

Am Schluss möchte ich mich nochmals ausdrücklich bei Werner Stackebrandt bedanken, bei seiner Frau Gabi Stackebrandt und bei der Vereinsvorsitzenden Angela Ehling für die Organisation und Durchführung der Exkursion. Eine Exkursion lebt immer vom persönlichen Engagement Einzelner. Das macht Arbeit. Wird aber auch durch eine rege Teilnahme von Vereinsmitgliedern und Gästen belohnt. Danke!

Helge Albert
Verein der Geowissenschaftler
in Berlin und Brandenburg e.V.

Anzeige geologischer Untersuchungen und digitale Bohranzeige

Das Geologiedatengesetz (GeolDG) ist am 30. Juni 2020 in Kraft getreten. Es hat das Lagerstättengesetz (LagerstG) abgelöst und hat zu einer umfassenden gesetzlichen Neuregelung im Bereich der Aufnahme, Archivierung und Veröffentlichung geologischer Daten geführt. Vorrangige Ziele des Gesetzes sind die Sicherung und die öffentliche Bereitstellung geologischer Daten, den nachhaltigen Umgang mit dem geologischen Untergrund zu gewährleisten sowie Geogefahren zu erkennen und bewerten zu können. Für Brandenburg ist das Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe (LBGR) gemäß § 3 Abs. 3 der Verordnung über wirtschaftsrechtliche Zuständigkeiten (WiZV) die für den Vollzug des GeolDG zuständige Behörde. Es hat die Aufgabe, Daten aus geologischen Untersuchungen für die staatliche geologische Landesaufnahme zu sichern und die dauerhafte Verfügbarkeit der Daten zu gewährleisten. Des Weiteren stellt das LBGR die öffentliche Bereitstellung geologischer Daten und die Zurverfügungstellung geologischer Daten zur Erfüllung öffentlicher Aufgaben sicher.

Von den umfangreichen Neuregelungen durch das Geologiedatengesetz sind ebenfalls die Auftraggeber von geologischen Untersuchungen und die zur Durchführung Beauftragten, wie z.B. Bohrfirmen, betroffen. Nach § 8 GeolDG besteht eine Anzeigepflicht für alle geologischen Untersuchungen spätestens zwei Wochen vor Beginn bei der zuständigen Behörde. Das LBGR stellt seit März 2022 dafür die folgenden Online-Anwendungen zur Verfügung:

- Bohranzeige Brandenburg online für die Anzeige von Bohrungen (URL: <https://www.bohranzeige-brandenburg.de/>)
- Formular Anzeige geologischer Untersuchungen für die Anzeige von geologischen Untersuchungen (URL: https://maisred.lvnbb.de/sixcms/media.php/21/Formular_Geologieanzeige_rev1.pdf)

Die über die Online-Anwendung gestellte Anzeige der Bohrung wird dem anzeigenden Auftraggeber oder der anzeigenden beratenden Firma oder der anzeigenden Bohrfirma automatisiert bestätigt. In Bezug auf die per Formular angezeigte geologische Untersuchungen kommt das LBGR bei Bedarf auf den Anzeigenden zu. Zu Anzeigen von Bohrungen gilt konkret:

- GeolDG § 8 Anzeige geologischer Untersuchungen und Übermittlung von Nachweisdaten an die zuständige Behörde, Nr. 4
„bei Bohrungen: die voraussichtliche Bezeichnung der Bohrung, die geplante Lage und Ansatzhöhe des Bohrpunktes, den geplanten Bohrlochverlauf, die geplante Endteufe, die gegebenenfalls prognostizierten Gesteinsschichten, die geplanten Bohrlochmessungen, die Art des Bohrverfahrens sowie den voraussichtlichen künftigen Aufbewahrungsort und die beabsichtigte Aufbewahrungsdauer von Bohrkernen und Bohr-, Gesteins- und Bodenproben“



Abb.: *Bohranzeige Brandenburg online für die Anzeige von Bohrungen*
(URL: <https://www.bohranzeige-brandenburg.de/>)

- BBergG § 127 Bohrungen
„(1) Für die nicht unter § 2 fallenden Bohrungen und die dazugehörigen Betriebseinrichtungen gelten, wenn die Bohrungen mehr als hundert Meter in den Boden eindringen sollen, die §§ 50 bis 62 und 65 bis 74 mit folgender Maßangabe entsprechend:
1. Beginn und Einstellung der Bohrarbeiten sind mindestens zwei Wochen vorher anzuzeigen. Müssen Bohrarbeiten schon in kürzerer Frist eingestellt werden, so ist die Anzeige unverzüglich zu erstatten“

Im Anzeigeportal müssen im Wesentlichen folgende Angaben gemacht werden: Auftraggeber/Auftragnehmer, Lage der Bohrung(en), Zweck/Bohrverfahren, Umfang der Arbeiten, weitere Angaben für Bohrungen mit Endteufe tiefer 100 m.

Im GeolDG sind gegenüber dem BBergG weitere Verpflichtungen verankert. Mit der Anzeige erfolgt die Übermittlung von Nachweisdaten. Im Anschluss an die Durchführung sind dem LBGR nach Ablauf bestimmter Fristen Fach- und Bewertungsdaten zu übermitteln. Die zuständige Behörde ist verpflichtet, diese Daten nach Maßgabe des GeolDG bereitzustellen. Wesentlich ist hier, dass die öffentliche Bereitstellung „die Einsichtnahme und [...] die Vervielfältigung oder eine andere Form der beständigen Kenntnisnahme ermöglichen“ (§ 19 GeolDG Abs. 2, Satz 2), wenn diese Daten nur analog vorliegen. Ansonsten gilt für die Datenformate, dass ein interoperables digitales Format zu übermitteln und entsprechend Geodatenzugangsgesetz (GeoZG) zur Verfügung zu stellen ist.

Dr. Birgit Futterer,
Leiterin Geologischer Dienst, LBGR

Aus dem LBGR

Frau Dr. Birgit Futterer – neue Abteilungsleiterin Geologischer Dienst im LBGR

Mit Wirkung vom 01. Oktober 2021 hat Frau Dr. Birgit Futterer die Leitung der Abteilung Geologischer Dienst im Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg übernommen.

Frau Dr. Birgit Futterer hat von 1996 bis 2002 ein Hochschulstudium der Geophysik an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg absolviert und 2006 an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg zu „Experimentellen und numerischen Untersuchungen von Kugelspaltströmungen“ promoviert.

Für das Studienjahr 2021/22 hatte sie die Dorothea-Erxleben-Professur (W2) an der Otto-von-Guericke-Universität in Magdeburg inne. Im Rahmen ihrer wissenschaftlichen Arbeit fokussierte sie auf hydrodynamische Strömungssimulationen, die einen Anteil in Kern-/Mantelströmungen haben.

Weitere berufliche Erfahrungen sammelt sie anschließend bei der Vattenfall Europe Mining AG bzw. Lausitz Energie Bergbau AG als Fach- und Bereichsingenieurin Bergbau in der Fachgruppe Bodenmechanik, als Leiterin der Fachgruppe Planung Depots und als Geschäftsfeldverantwortliche „Lausitzer Sekundär-Rohstoff-Zentrum“.

Frau Dr. Birgit Futterer hat die Nachfolge von Angelika Seidemann angetreten, die den Geologischen Dienst seit 2012 leitete und sich nun in ihrem wohlverdienten Ruhestand befindet.

Sebastian Fritze, Präsident



Abb.: Fr. Dr. Birgit Futterer (links) und Frau Angelika Seidemann

Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge

Autorenhinweise

Die Zeitschrift „Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge“ widmet sich dem neuesten Forschungsstand in den geowissenschaftlichen Disziplinen Geologie, Lagerstättenkunde und Bergbau mit besonderem Fokus auf wissenschaftliche und angewandte Projekte aus der Region Berlin-Brandenburg. Es werden Originalarbeiten und wissenschaftliche Informationen veröffentlicht, die noch nicht andernorts publiziert wurden. Die eingereichten Manuskripte werden von mindestens zwei unabhängigen Gutachtern geprüft, welche von der Schriftleitung gewählt werden.

Ihre Manuskripte senden Sie bitte in digitaler Form (e-mail, CD) an das 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. 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 Kurzinformati-
onen 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 Da-
teien 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).

Für die Begutachtung bitten wir zusätzlich um ein größenreduziertes PDF inklusive aller Abbildungen und Tabellen.

Zitierweise

Im Text:

- WUNDERLICH (1974) bzw. (WUNDERLICH 1974) oder
- PILGER & STADLER (1971) sowie NÖLDEKE et al. (1977) bei mehr als zwei Autoren

Im Literaturverzeichnis:

- BUBNOFF, S. v. (1953): Über die Småländer „Erdnaht“. – Geol. Rdsch. 41, S. 78–90
- NIESCHE, H. & F. KRÜGER (1998): Das Oder-Hochwasser 1997 - Verlauf, Deichschäden und Deichverteidigung. – Bran-
denburg. Geowiss. Beitr. 5, 1, S. 15–22
- FAUTH, H., HINDEL, R., SIEWERS, U. & J. ZINNER (1985): Geochemischer Atlas Bundesrepublik Deutschland 1 : 200 000.
– 79 S., Hannover (Schweizerbart)
- KRONBERG, P. (1976): Photogeologie, eine Einführung in die Grundlagen und Methoden der geologischen Auswertung
von Luftbildern. – 268 S., Stuttgart (Enke)

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

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

Grundsätze zu Rechtschreibung und Zeichensetzung

Datum: Entweder 1. März 2011 oder 01.03.2011; **Einheiten**: 2 km, 50 % – Einheitszeichen mit Zwischenraum zwischen
Zahl und Zeichen verwenden; **Euro**: ausschreiben; **Rechenzeichen**: 6 + 2 = 8 – mit Zwischenraum zwischen Zahl und
Rechenzeichen, ebenso </> mit festem Leerzeichen vor der Zahl **ABER** -2 – Vorzeichen vor der Zahl ohne Zwischenraum;
mehrstellige Zahlen: 5 350 Gliederung von der Endziffer aus durch Zwischenraum in dreistellige Gruppen; **Schräg-
strich**: 2010/11 – ohne Zwischenraum; **Gedankenstrich**: 1999–2011 Gedankenstrich für „gegen“ und „bis“; **Festabstän-
de**: z. B., u. a. – Abkürzungen mit Zwischenraum