Brandenburg. geowiss. Beitr.	Cottbus	**21** (2014), 1/2	S. 105 – 128	28 Abb., 4 Tab., 34 Zit.

Nutzung und Potenziale des tiefen Untergrundes in Brandenburg, Teil 1: Kohlenwasserstoffe, tiefliegende feste mineralische Rohstoffe, Speicherpotenziale

Use and potential of the deep underground in the state of Brandenburg, part 1: hydrocarbons, deep-seated raw materials, storage potential

Thomas Höding

Die Norddeutsche Senke beherbergt – wie die meisten großräumigen Senkenstrukturen weltweit – ein ganzes Spektrum wertvoller Bodenschätze und geologisch/geotechnischer Nutzungsmöglichkeiten, die es jeweils im Einzelnen zu erkunden gilt.
Die Kenntnisse über den tiefengeologischen Bau Brandenburgs resultieren im Wesentlichen aus der umfangreichen Bohrtätigkeit der letzten Jahrzehnte sowie aus großflächigen geophysikalischen, insbesondere seismischen Untersuchungen. Diese Arbeiten dienten der Erkundung und Erschließung von Bodenschätzen wie beispielsweise Kohlenwasserstoffen, Erzen, Braunkohlen oder Geothermischen Potenzialen. Die tiefste Bohrung auf Brandenburger Gebiet besitzt eine Teufe von 7 008 m (Bohrung Pröttlin E Proet 1/1h/81) und reicht bis ins Karbon (Hoth et al. 1993).

1. Kohlenwasserstoffe

In Brandenburg wird seit den 1950er Jahren auf Kohlenwasserstoffe im Mesozoikum, im Staßfurtkarbonat des Zechstein und im Rotliegend exploriert. Erste Erkundungen hatten mögliche Fallenstrukturen im Mesozoikum in der Umgebung von Salzstöcken zum Ziel. Diese Arbeiten erfolgten insbesondere in Nordwestbrandenburg, wo man davon ausging, ähnliche Lagerstätten wie im benachbarten Niedersachsen anzutreffen. Diese Erkundungen waren jedoch nicht erfolgreich, weil das Erdölmuttergestein in Nordwestbrandenburg das erforderliche Reifestadium nicht erreicht hatte.
Ebenfalls in den 1950er Jahren begann die Exploration in Südostbrandenburg, wo im Staßfurtkarbonat (Ca2) des basalen Zechstein wirtschaftlich nutzbare Lagerstätten von Erdöl und Erdgas nachgewiesen werden konnten. Insbesondere die Anwendung der hochauflösenden 2D-Seismik in Verbindung mit lokalem Einsatz von 3D-Seismik brachte große Fortschritte bei der Entschlüsselung des geologischen Tiefenbaus und der dadurch möglichen Auffindung von Erdöl- und Erdgaslagerstätten. So wurde klar, dass insbesondere die Karbonatsand-Barrenzone am Nordrand der Zechsteinplattform im Bereich des Ca2 primär gute Speichereigenschaften aufweist und auch die für eine Lagerstättenbildung ausreichenden Mächtigkeiten besitzt.
Insgesamt wurden bei Explorationsarbeiten 29 Lagerstätten von Kohlenwasserstoffen in Brandenburg entdeckt, die jedoch meist nur eine geringe Größe aufwiesen (Abb. 1). Die größte Lagerstätte – eine Erdgaslagerstätte – befindet sich bei Märkisch-Buchholz (Landkreis Dahme-Spreewald) und ist derzeit wieder Schauplatz intensiver Untersuchungen. Die Entscheidung des erkundenden Unternehmens über eine künftige wirtschaftliche Nutzung ist in den nächsten ca. 2 Jahren zu erwarten. Die Lagerstätte Märkisch-Buchholz ist ein Musterbeispiel für eine fast ungestörte Inselstruktur, an die im Ca2 eine Gas-Kondensat-Lagerstätte geknüpft ist (Rockel & Ziegenhardt 1979, Schretzenmayr 1998, Höding et al. 2007).

Die Förderung aus den brandenburgischen Erdöl- und Erdgaslagerstätten wurde Ende der 1990er Jahre mit einer Ausnahme aufgrund mangelnder Wirtschaftlichkeit infolge des damals sehr niedrigen Erdölpreises auf dem Weltmarkt eingestellt. Ein großer Teil der Bohrungen (Betriebspunkte) und einige weitere technische Anlagen (z. B. Förderstationen, Rohrleitungen) der Erdöl- und Erdgasproduktion stehen derzeit noch unter Bergaufsicht und werden in den nächsten Jahren nach Zulassung und Abarbeitung von Abschlussbetriebsplänen aus der Bergaufsicht entlassen.
Eine Gewinnung von Erdöl erfolgt zum jetzigen Zeitpunkt lediglich aus der Lagerstätte Kietz (Landkreis Märkisch-Oderland) mit 2 Fördersonden (Abb. 2). Diese Lagerstätte stellt die westlichste separate Struktur eines ehemaligen regionalen Inselkomplexes dar, der sich weit nach Polen hinein hinzieht. Am Standort existiert eine hochmoderne Anlage zur Aufbereitung des Erdöls und seiner Begleitkomponenten, die bedeutend zum effizienten Betrieb der Gesamtanlage beiträgt.
Die Vorräte der Lagerstätte wurden mit Stand April 2006 auf 120 000 t sichere Vorräte an Erdöl angegeben (Höding et al. 2007) und man rechnete bei relativ gleich bleibenden Förderzahlen von ca. 20 000 t Erdöl und ca. 7 Mio. m^3 Erdölbegleitgas mit einem Auslaufen der Förderung um das Jahr 2012. Weitere Untersuchungen und Variationen im Förderregime belegten jedoch größere vorhandene Vorräte, so dass

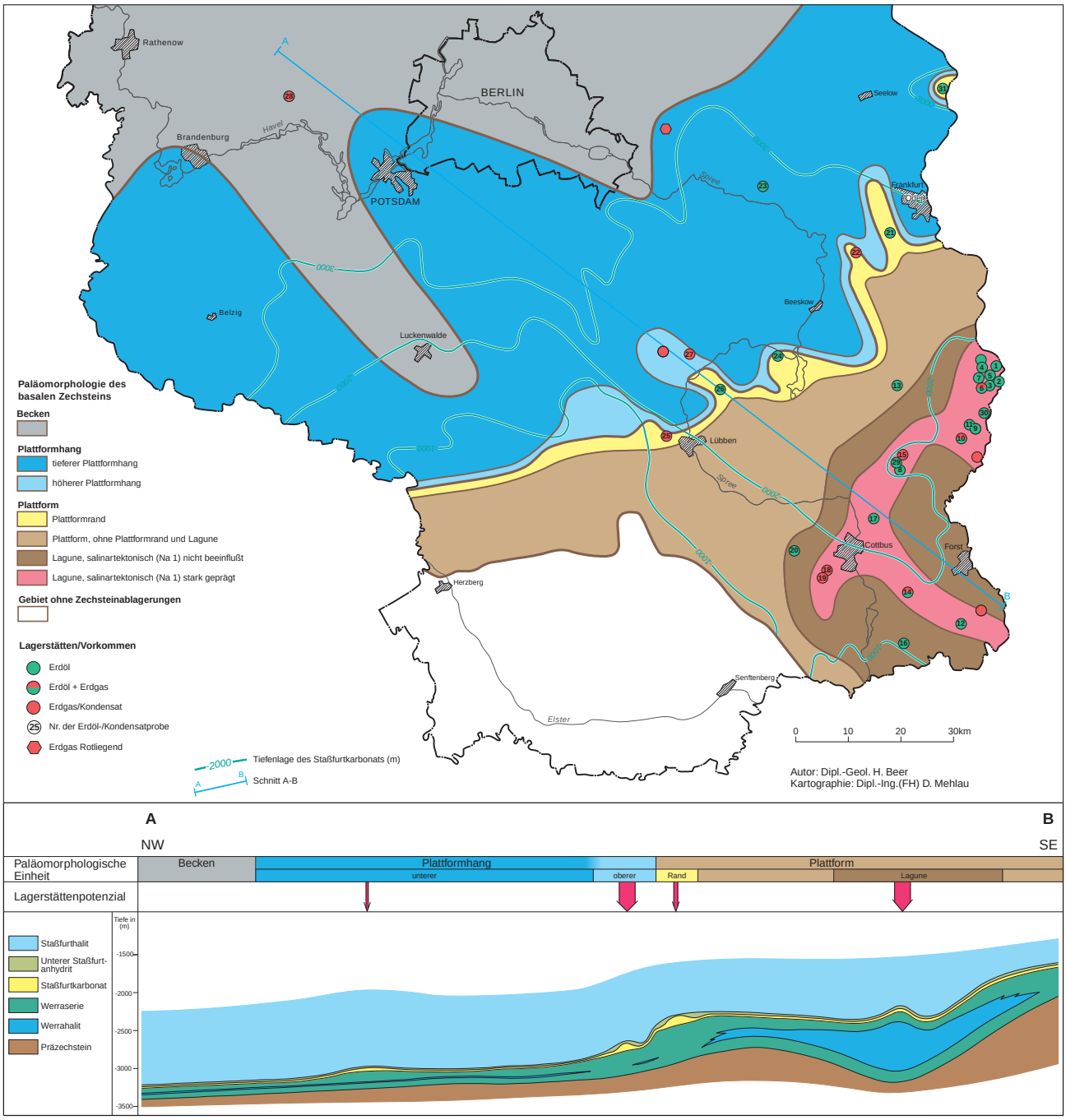

Abb. 1: Paläogeographie und Kohlenwasserstofflagerstätten in Südostbrandenburg sowie schematischer Schnitt durch den basalen Zechstein (bearbeitet nach PISKE & RASCH 1998)

Fig. 1: Palaeogeography and deposits of hydrocarbons in southeast Brandenburg with a schematic section through the basal Zechstein (modified after PISKE & RASCH 1998)

die Förderung von Erdöl und Erdölbegleitgas bis heute und auch in den nächsten Jahren fast unvermindert fortgesetzt werden kann. Im Jahr 2012 wurden 16 014 t Erdöl und 5,05 Mio. m³ Erdölbegleitgas gewonnen.

Im Zuge der stark angestiegenen Erdöl- und Erdgaspreise gibt es im Land Brandenburg etwa seit dem Jahr 2005 erneut wirtschaftliches Interesse an einer weiteren Kohlenwasserstoffexploration. Verschiedene Firmen aus dem Bereich Erdöl/Erdgas begannen sich zunächst für historische Erkundungsergebnisse zu interessieren sowie die im Bohrkern- und Probenarchiv Wünsdorf des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe (LBGR) archivierten Bohrkerne früherer Kohlenwasserstofferkundungen intensiv zu bemustern. Aus diesen Untersuchungen ergaben sich wiederum neue geologische Modellvorstellungen, die die Entdeckung weiterer Lagerstätten erwarten ließen (GÖTHEL 2012).

Abb. 2: Erdöl-/Erdgasaufbereitungsanlage bei Kietz (Landkreis Märkisch-Oderland) (Foto: F. Ludwig 2008)
Fig. 2: Processing installation for hydrocarbons near Kietz (Märkisch-Oderland district) (photo: F. Ludwig 2008)

Derzeit bestehen im Land Brandenburg 18 bergrechtliche Konzessionen auf Kohlenwasserstoffe. Dabei resultieren 11 Felder mit dem Status „Bergwerkseigentum“ aus übergeleiteten Rechten auf die GDF Suez E&P GmbH in der Rechtsnachfolge des ehemaligen Kombinates Erdöl-Erdgas Gommern.
Die hoffnungsvolle Entwicklung neuer Kohlenwasserstoffprojekte lässt sich an der aktuellen Berechtsamskarte (Abb. 3) des LBGR ablesen sowie an der nachfolgenden Kurzbeschreibung der derzeitigen wirtschaftlichen Aktivitäten auf diesem Sektor.

1.1 Feld Lübben

Inhaberin des Feldes Lübben ist die Central European Petroleum GmbH (CEP) mit Sitz in Berlin. Die Muttergesellschaft ist in Kanada ansässig.
Die CEP ist im Feld Lübben seit Oktober 2007 (Erteilung einer bergrechtlichen Erlaubnis gemäß § 7 BBergG durch das LBGR) mit Erkundungsarbeiten auf Kohlenwasserstoffe tätig. Ab 2008 recherchierte die CEP an vorhandenen Bohrkernen früherer Erkundungen im Bohrkern- und Probenarchiv Wünsdorf des LBGR. Erkundungsziel war eine im Staßfurtkarbonat vermutete Erdöllagerstätte in mehr als 2 500 m Teufe.
Durch seismische Messungen in den Jahren 2009 – 2013 – zuletzt erfolgte im November/Dezember 2013 eine 3D-Seismik – wurde im Feld Lübben eine Antiklinalstruktur entdeckt, deren Erdölführung im Staßfurtkarbonat durch die Erkundungsbohrung Guhlen 1 im Jahre 2012 (Endteufe 2 912 m) bereits nachgewiesen werden konnte.
Die Bohrung wurde im Bereich des ölführenden Staßfurtkarbonates komplettiert und getestet (Abb. 4, Abb. 5a und b). Über eine Förderung kann nach Auswertung der Testergebnisse wahrscheinlich innerhalb der nächsten zwei Jahre entschieden werden. Die CEP geht in ihren Modellvorstellungen derzeit von einem Lagerstätteninhalt von ca. 33 Mio. t Erdöl aus, von denen ca. 5,2 Mio. t förderbar sind.
Darüber hinaus könnte im Erkundungsfeld eine Rotliegendstruktur mit einem weiteren bedeutenden Ressourcenpotenzial vorhanden sein. Die Bohrung Guhlen 1 konnte im sedimentären Rotliegend jedoch noch keinen Nachweis für das Vorhandensein von Kohlenwasserstoffen erbringen (Hampel 2012, Pasternack 2013).
Die CEP plant, die genannten Ressourcenpotenziale durch weitere seismische Erkundungen und mindestens eine weitere Explorationsbohrung zu bestätigen.

1.2 Feld Forst

Für das Feld Forst wurde im Jahr 2012 ebenfalls der CEP eine Aufsuchungserlaubnis auf Kohlenwasserstoffe verliehen. Die Erkundung verfolgt das Ziel, Erdöl- und Erdgasvor-

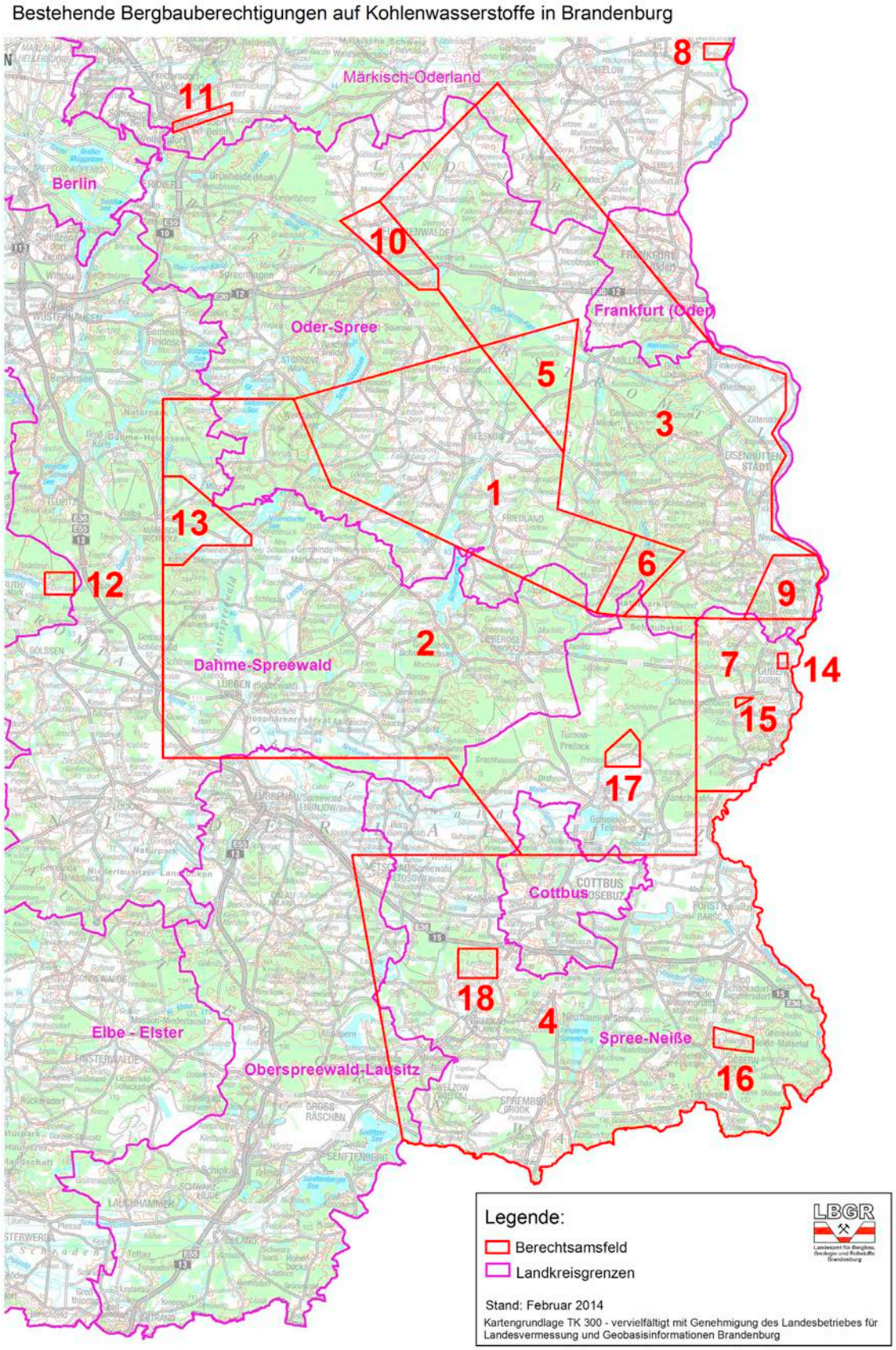

Abb. 3: Bestehende Bergbauberechtigungen auf Kohlenwasserstoffe, Stand Februar 2014: 1 – Reudnitz; 2 – Lübben; 3 – Pillgram; 4 – Forst; 5 – Reudnitz-Nordost; 6 – Reudnitz-Südost; 7 – Kerkwitz-Guben; 8 – Kietz; 9 – Wellmitzer Lagune; 10 – Struktur Fürstenwalde; 11 – Rüdersdorf; 12 – Dornswalde; 13 – Märkisch Buchholz; 14 – Guben Nord; 15 – Guben-Atterwasch; 16 – Döbern; 17 – Tauer; 18 – Drebkau

Fig. 3: Concessions for exploration and exploitation of hydrocarbons in Brandenburg as of february 2014

Abb. 4: Luftaufnahme des Bohrplatzes der Erdölbohrung Guhlen (Foto: CEP GmbH 2012)
Fig. 4: Aerial photograph of the Guhlen well (photo: CEP GmbH 2012)

Abb. 5 a: Im Bohrkern- und Probenarchiv des LBGR archivierte Bohrkerne der Bohrung Guhlen (Foto: T. Höding 2014)
Fig. 5a: Drill cores of the Guhlen well in the core archive of the LBGR (photo: T. Höding 2014)

Abb. 5 b: Im Bohrkern- und Probenarchiv des LBGR archivierte Bohrkerne der Bohrung Guhlen – Detailansicht (Foto: T. Höding 2014)
Fig. 5b: Drill cores of the Guhlen well – detail (photo: T. Höding 2014)

kommen im Zechstein sowie im Oberrotliegend nachzuweisen. Haupterkundungsziel ist dabei das Staßfurtkarbonat. Im Rahmen der Erlaubnis soll sich das Erkundungsprogramm über drei Jahre erstrecken. Nach Auswertung vorhandener Daten früherer 2D-Seismikerkundungen sollen neu interpretierte Strukturandeutungen in den Zielhorizonten durch erneute Seismik bestätigt werden, um nachfolgend einen Bohransatzpunkt auswählen zu können.
Die Erkundungsstrategie stellt dabei die Erkundung entlang bekannter bzw. abgeworfener Kohlenwasserstofflagerstätten (z. B. Atterwasch, Burg, Komptendorf, Döbern, Guben) in den Fokus. Daher kann das Projekt als mit einem deutlich reduzierten Erkundungsrisiko behaftet angesehen werden.
Konkrete Erkundungsarbeiten innerhalb des Aufsuchungsfeldes finden zurzeit noch nicht statt.

1.3 Feld Reudnitz

Die bergrechtliche Erlaubnis für das Feld Reudnitz wurde bereits 2004 durch das LBGR erteilt. Ziel der Aufsuchung ist die Erkundung eines Erdgasvorkommens in Sandsteinstrukturen des Rotliegend in einer Teufe von ca. 2 700 bis 3 000 m.
Erkundungsarbeiten zu dieser Lagerstätte wurden bereits ab den 1960er Jahren durchgeführt (u. a. Bohrung Birkholz-Beeskow E BkhBk 1E/64 und mehrere geophysikalische Untersuchungen). Vorratsschätzungen dieser Untersuchungsetappen gehen von ca. 67 Mrd. Nm^3 geologischen Vorräten an Gas aus.
Im Jahre 2012 hat die Bayerngas GmbH mit Sitz in München 75 % dieser Erlaubnis übernommen. Mit der Übernahme der Konzession durch Bayerngas begannen konkrete Planungen zur weiteren Erkundung. Ferner wurde das bestehende Erlaubnisfeld räumlich erweitert.
Im Zuge des zugelassenen Hauptbetriebsplans „Erkundung“ führte die Bayerngas GmbH im Februar 2014 zweidimensionale reflexionsseismische Messungen im Erlaubnisfeld Reudnitz zur Verifizierung der geologischen Strukturen im Untergrund und zur Abgrenzung der vermuteten Lagerstätte durch (Abb. 6 und 7). Im Juli 2014 wurde mit dem Abteufen einer Bohrung begonnen.

Abb. 6: Vibroseismik-Fahrzeuge bei der 2D-reflexionsseismischen Messung im Feld Reudnitz im Februar 2014, (Foto: L. Wiese)
Fig. 6: Vehicles for vibroseismology during 2D-seismology campaign in the Reudnitz concession in february 2014 (photo: L. Wiese)

Abb. 7: Blick in den mobilen Aufzeichnungsraum der 2D-reflexionsseismischen Messung im Feld Reudnitz im Februar 2014 (Foto: L. Wiese)
Fig. 7: View into the mobile registration center during the 2D-seismology campaign in the Reudnitz concession in february 2014 (photo: L. Wiese)

1.4 Feld Pillgram

Das Erlaubnisfeld Pillgram wurde der Celtique Energie GmbH mit Sitz in Berlin (Sitz der Muttergesellschaft in Großbritannien) im Jahr 2007 durch das LBGR verliehen. Ziel der Aufsuchung sind vermutete Erdöl- und Erdgasvorkommen in einer Teufe von mehr als 2 500 m sowohl im Staßfurtkarbonat als auch in Sandsteinen des Rotliegend.
Der Hauptbetriebsplan für eine 3D-Seismik steht vor einer Verlängerung seiner Gültigkeit durch das LBGR. Aufgrund von Rechtsstreitigkeiten über die Nutzungserlaubnis von Grundstücken für die Erkundung [anhängig beim Oberverwaltungsgericht Frankfurt (Oder)] finden derzeit keine konkreten Erkundungsarbeiten statt.

1.5 Feld Kietz

Der Betrieb erfolgt wie oben bereits erwähnt, durch die GDF Suez E&P Deutschland GmbH. Die Lagerstätte repräsentiert eine isolierte Struktur eines ehemaligen regionalen Inselkomplexes. Ähnliche Strukturen finden sich auch weiter östlich in Polen. Gefördert werden Erdöl und Erdölbegleitgas aus dem Staßfurtkarbonat in Teufen von ca. 2 700 bis 2 800 m. In der modernen Förder- und Aufbereitungsstation Kietz werden Schwefel und Begleitgas vom Erdöl getrennt. Das gereinigte Gas wird über eine Gaspipeline nach Manschnow im Oderbruch weitergeleitet und in einem dortigen Kraftwerk verstromt. Das Öl wird per LKW in die Raffinerie Schwedt transportiert und geht in die dortigen Produktionsprozesse ein. Einen Überblick über die Förderung seit dem Jahr 2005 gibt die nachfolgende Tabelle 1. Die Förderung in Kietz wird nach jetzigen Erkenntnissen etwa bis zum Jahr 2020 fortgesetzt werden können.

1.6 Feld Märkisch Buchholz

Das Feld Märkisch Buchholz steht im Bergwerkseigentum der GDF Suez E&P Deutschland GmbH. Die Lagerstätte wurde bereits in den 1960er bis in die 1980er Jahre erkundet und u. a. durch vier Bohrungen belegt (Endteufen ca. 2 450 – 2 820 m). Speichergestein ist hier ebenfalls das Staßfurtkarbonat. Paläomorphologisch handelt es sich bei dieser Struktur um ein isoliertes Hoch außerhalb der Plattform. Als Lagerstätteninhalt nachgewiesen wurde ein Erdgas mit ca. 90 % N_2 und einem Kohlenwasserstoffanteil von ca. 10 % sowie begleitendes Gaskondensat. Die geologischen Vorräte wurden mit ca. 15,1 Mrd. Nm^3 bestimmt.
Nach Jahrzehnten ohne größere Aktivitäten plant die GDF Suez E&P GmbH seit 2010 eine Nutzung dieser Lagerstätte. Die Lagerstätte soll so entwickelt werden, dass ihr Inhalt vollständig energetisch und stofflich genutzt werden kann. Den Hauptbeitrag dazu soll die Lieferung von Erdgas an ein ortsnah zu errichtendes Gaskraftwerk zur Verstromung werden (gas to power). Das Entwicklungskonzept geht davon aus, dass das Kondensat abgetrennt und separat vermarktet wird. Das Erdgas soll in Sondergasbrennern zur Dampferzeugung und dem Betrieb von Dampfturbinen zur Erzeugung von Elektroenergie eingesetzt werden.
Zur Realisierung dieses Vorhabens müssen u. a. zunächst die an den vorhandenen Bohrungen anliegenden Drücke gemessen werden und neue Steigrohre mit Packern eingebaut werden. Das heißt, die gesamten vorhandenen Anlagen müssen technisch ertüchtigt und förderfähig gemacht werden (Abb. 8 und 9).
Diese Arbeiten begannen Ende des Jahres 2013. Erst nach ihrem Abschluss kann durch GDF Suez E&P GmbH entschieden werden, ob das geplante Konzept wirtschaftlich tragfähig ist und realisiert werden kann.
Die Arbeiten erfolgen entsprechend den zugelassenen Hauptbetriebsplänen „Gassonden Märkisch Buchholz“, den Sonderbetriebsplänen „Bohrplatzbau“ und „Aufwältigung“ für die einzelnen Sonden sowie der zugehörigen Wasserrechtlichen Erlaubnisse.

Jahr	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Öl (kt)	20,5	20,0	18,7	19,2	17,7	17,7	16,0	16,0
Gas (Nm^3)	6,87	6,64	6,20	6,18	5,66	5,36	5,26	5,05

Tab. 1: Förderung von Erdöl und Erdölbegleitgas aus der Lagerstätte Kietz
Tab. 1: Exploitation of oil and gas in the Kietz deposit

Abb. 8:
Bohranlage T44 bei Workover-Arbeiten an der Bohrung E MärBz 2/86, Januar 2014 (Foto: L. Wiese)

Fig. 8:
Drill unit T44 during workover of the well E MärzBz 2/86, january 2014 (photo: L. Wiese)

Abb. 9: Gestängeeinbau bei Workover-Arbeiten an der Bohrung E MärBz 2/86, Januar 2014 (Foto: L. Wiese)
Fig. 9: Drill pipe completion during workover of the well E MärzBz 2/86, january 2014 (photo: L. Wiese)

2. Tiefliegende feste mineralische Rohstoffe

Als tiefliegende feste mineralische Rohstoffe werden hier solche Rohstoffe betrachtet, die im Gegensatz zu beispielsweise Steine- und Erdenrohstoffen (vgl. Beitrag E. Wetzel, dieses Heft), nicht im Tagebau gewinnbar sind, sondern die unabhängig von ihrer Tiefenlage nur über Bohrungen bzw. Untertageabbau (Schachtanlagen) wirtschaftlich erschlossen werden können.
Die Wirtschaftlichkeit einer Lagerstättennutzung hängt von vielen Faktoren ab, die sich im Laufe der Zeit verändern können. Prominentestes Beispiel hierfür ist in Brandenburg sicher die Kupferlagerstätte Spremberg-Graustein, die zwar schon seit über 60 Jahren bekannt ist, in mehreren Etappen auch erkundet wurde, aber schließlich fast in Vergessenheit geriet. Erst mit dem Anstieg der Kupferpreise auf dem Weltmarkt in den Jahren nach der Jahrtausendwende rückte sie wieder derart in den Fokus der Rohstoffindustrie, so dass sich aufgrund der Konkurrenzsituation die Erteilung einer bergrechtlichen Konzession für diese Lagerstätte zu einem wahren Krimi entwickelte (Liedtke & Vasters 2010).
Daher wird es als Anliegen dieses Berichtes verstanden, die – zugegebenermaßen wenigen – erkundeten Lagerstätten tiefliegender fester mineralischer Rohstoffe Brandenburgs kurz zu dokumentieren, auch wenn eine wirtschaftliche Nutzung für einige dieser Lagerstätten zum jetzigen Zeitpunkt nicht absehbar ist (Abb. 10). Festzuhalten ist, dass für alle hier aufgeführten Lagerstätten umfangreiche Explorationsprogramme durchgeführt wurden, die zuverlässige Prognosen über Lage, Wertstoffgehalt und Verteilung dieser Bodenschätze erlauben bzw. auch zu Lagerstättenabgrenzungen führten.
Derzeit finden keine Explorationsarbeiten auf derartige Rohstoffe statt. Die vergangenen Jahre lehren aber, dass Veränderungen in den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen oder im gesamtgesellschaftlichen Umfeld sehr schnell neue Erkundungsaktivitäten induzieren können.

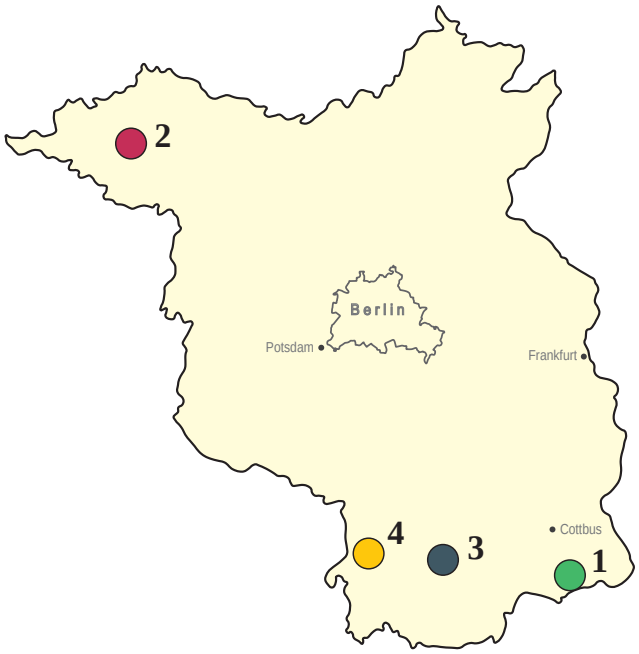

Abb. 10: Lage der erkundeten Lagerstätten tiefliegender fester mineralischer Rohstoffe in Brandenburg 1 – Kupferschiefer Spremberg-Graustein; 2 – Eisenerz Westliche Prignitz; 3 – Anthrazit Doberlug-Kirchhain; 4 – Uranerz Herzberg
Fig. 10: Situation of deep situated raw material deposits in Brandenburg

2.1 Kupfererz

Die Kupferlagerstätte Spremberg-Graustein (Landkreis Spree-Neiße) repräsentiert Brandenburgs bedeutendste Lagerstätte des tiefen Untergrundes. Sie liegt im Bereich einer nach dem Ort Mulkwitz in Sachsen benannten Antiklinalstruktur, die bereits zwischen 1953 und 1974 durch geophysikalische Messungen und mehr als 150 Tiefbohrungen eingehend auf Buntmetallvererzungen und Kohlenwasserstoffe untersucht wurde (u. a. Rentzsch & Ludwig 1964, Hennig 1974). Diese Struktur stellt eine Hochlage altpaläozoischer, permischer und triassischer Schichtfolgen dar, die an den Flanken von herzynisch streichenden Störungen begrenzt und durch rheinisch sowie E–W streichende Störungen untergliedert wird (Abb. 11).

Die Untersuchungen belegten einen tektonisch komplizierten Internbau, zeigten aber auch, dass an der Zechsteinbasis ein sedimentologisch mächtig entwickelter Kupferschiefer (T1) vorhanden ist. Zusammen mit dem direkt darüber lagernden mergeligen Anteil des Zechsteinkalks (Ca1m) repräsentiert dabei der Kupferschiefer das älteste Sediment des Tafelgebirgsstockwerkes. Er enthält die größten Kupferanreicherungen der Zechsteinbasis. Der liegende, in der Lausitz ebenfalls oft vererzte Sandstein, gehört dagegen in das Oberrotliegend. Die Lagerstätte besteht aus den Erzfeldern Spremberg und Graustein, die durch eine kreidezeitlich angelegte Grabenstruktur, den Türkendorfer Graben, voneinander getrennt sind. Sie erstreckt sich über eine Länge von knapp 15 km und erreicht eine Breite von bis zu 3,5 km (Abb. 12). Wirtschaftlich gewinnbare Kupfer- und weitere Buntmetallkonzentrationen sind hier an die Sandsteine des Präzechsteins, den Kupferschiefer und den unteren Teil des Zechsteinkalks gebunden. Die durchschnittliche Mächtigkeit des Erzkörpers beträgt 2,4 m, jedoch wurden in verschiedenen Bereichen noch deutlich größere Mächtigkeiten nachgewiesen, die bis zu 8,2 m erreichen (Kopp et al. 2008, Kopp, Spieth & Höding 2010). Der Erzhorizont befindet sich in einer Teufenlage zwischen 800 und 1 500 m.

Die Lagerstätte Spremberg-Graustein stellt eine Buntmetall-Lagerstätte dar, die neben Kupfer auch eine Gewinnung von Blei, Zink, Silber und wahrscheinlich auch noch weiterer seltener Metalle ermöglichen würde. Sie gehört zur Gruppe der polymetallischen Vererzungslagerstätten an der Zechsteinbasis vom Typ Niederschlesien. Da die wirtschaftlich bedeutenden Metallanreicherungen mit tektonischen Einflüssen in Verbindung zu bringen sind, ist sie als epigenetische Lagerstätte einzustufen.

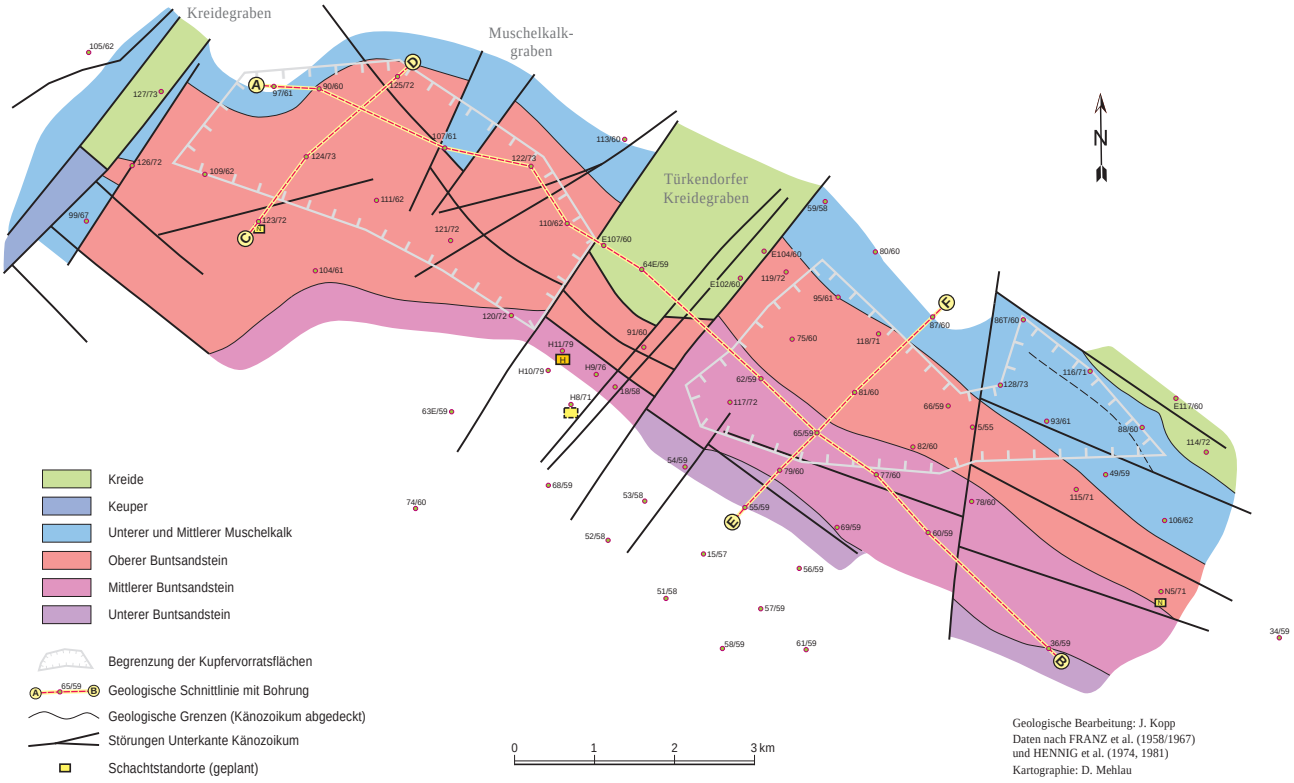

Abb. 11: Abgedeckte geologisch-tektonische Karte des Nordteils der Struktur Mulkwitz mit den Umrissen der Kupferlagerstätte Spremberg-Graustein.
Fig. 11: Geologic-tectonic map of the northern part of the Mulkwitz-structure. The copper deposit Spremberg-Graustein is outlined.

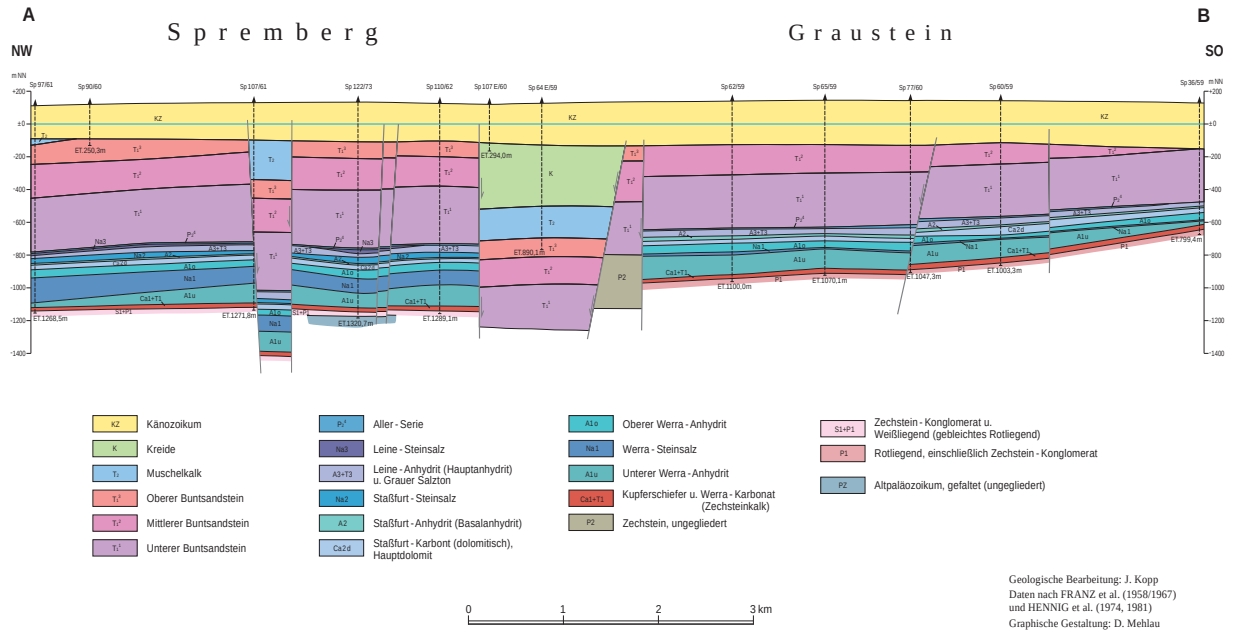

Abb. 12: Geologischer NW–SE-Schnitt durch die Kupferlagerstätte Spremberg-Graustein (ca. 1,7-fache Überhöhung)
Fig. 12: Geologic section NW–SE through the copper deposit Spremberg-Graustein (exaggeration factor nearly 1.7)

Insgesamt stellen die polymetallischen Vererzungen an der Zechsteinbasis mit einem Metallinhalt von mehreren hundert Millionen Tonnen Kupfer, Blei, Zink und Silber, wie sie im Harzvorland, in der Niederlausitz und im polnischen Niederschlesien nachgewiesen worden sind, die bedeutendsten Buntmetallvererzungen im variszisch gefalteten nördlichen Mitteleuropa dar (Rentzsch et al. 1976).
Nach den bis 2008 durchgeführten geologischen Erkundungen und Neubewertungen der früheren Erkundungsergebnisse wurde der Lagerstätteninhalt mit ca. 100 Mio. t Kupfererz mit einer Gesamtmenge an metallischem Kupfer von ca. 1,5 Mio. t beziffert. Kalkuliert wurde dabei mit einem durchschnittlichen Kupfergehalt im Erz von 15,3 kg je Tonne (Kopp et al. 2008). Gleichzeitig wurde aber betont, dass mit großer Wahrscheinlichkeit weitere abbauwürdige Kupfererzmengen vorhanden sind.
Der Gehalt an Begleiterzen konnte nach denselben Quellen der lagerstättengeologischen Erkundung ebenfalls abgeschätzt werden:

- Blei ca. 88 800 t,
- Zink ca. 36 500 t,
- Silber ca. 2 270 t.

Daneben ist, in Abhängigkeit von der Art der Aufbereitung und der wirtschaftlichen Tragfähigkeit, die Gewinnung von weiteren Elementen wie Nickel, Rhenium, Selen, Vanadium, Gold, Platin und Palladium denkbar.
Als direkte Folge der rasant gestiegenen Metallpreise auf dem Weltmarkt, insbesondere auch für Kupfer und Silber, bewarben sich 2006 und 2007 mehrere große internationale Bergbaukonzerne um diese Lagerstätte bzw. um die Erlaubnis zur Aufsuchung weiterer Vorräte in Brandenburg und im benachbarten Freistaat Sachsen.
Im Jahr 2007 erteilte das LBGR der MINERA S. A. mit ihrer Tochtergesellschaft Kupferschiefer Lausitz (KSL) GmbH eine bergrechtliche Erlaubnis zum Aufsuchen von Kupfer und begleitenden Metallen für den brandenburgischen Teil des auch nach Sachsen reichenden Erkundungsfeldes im Raum Spremberg-Schleife, in dessen Kernbereich die Kupferschieferlagerstätte „Spremberg-Graustein“ liegt. Eine bergrechtliche Bewilligung und damit das Gewinnungsrecht für die Lagerstätte wurde im Jahr 2010 durch das LBGR erteilt.
Anfang 2011 erfolgte auch die Bewilligung für den Abbau des sächsischen Teils der Lagerstätte durch das Sächsische Oberbergamt, was für die Entwicklung der Gesamtlagerstätte von eminenter Bedeutung ist.
Die im Bohrkern- und Probenarchiv des LBGR in Wünsdorf archivierten Bohrkerne und Einzelproben früherer Erkundungsetappen bildeten für die KSL eine wichtige Grundlage dafür, die Metallgehalte mit modernen Analysenmethoden zu bestätigen bzw. zu verifizieren und davon ausgehend, weitere Untersuchungsarbeiten zu planen (Abb. 13).

Weitere Erkundungsarbeiten der KSL hatten zum Ziel, die Zahlen der Vorratsbasis zu präzisieren und durch weitere Aufsuchungen im Umfeld zu erweitern (Ksl 2010). Dazu wurde von der KSL bisher eine Reihe von Arbeiten durchgeführt:

Abb. 13: Im Bohrkern- und Probenarchiv des LBGR archivierte Kerne des Kupferschieferflözes der Lagerstätte Spremberg-Graustein, hier ein Beispiel aus dem Flözbereich aus der Bohrung Cu Sp 74/60, Teufe 957,8 – 960, 6 m (Foto: T. Höding 2014)

Fig. 13: Drill cores of the copper deposit Spremberg-Graustein in the archives of the LBGR, here an example from the bed in well Cu Sp 74/60, position of depth 957,8 – 960,6 m (photo: T. Höding 2014)

Im November/Dezember 2009 erfolgten magnetotellurische Messungen an insgesamt 80 Messstationen entlang von vier Profilen im Bereich der Lagerstätte. Aufgrund vielfältiger Störeffekte konnte das Potenzial dieser Methode nicht völlig ausgereizt werden, dennoch konnten detektierte leitfähige Strukturen als Kupferschiefermineralisation erkannt werden. Abteufen von zwei Bohrungen (Cu Sp 131/09 und Cu Sp 136/09) in den Jahren 2009 bzw. 2010 im Lagerstättenbereich (Abb. 14 und 15). Eine dritte Bohrung wurde auf sächsischem Gebiet niedergebracht. Zielstellungen dieser beiden Bohrungen waren die Verifizierung von Ergebnissen älterer Erkundungsbohrungen, die Gewinnung von Erz für technologische Untersuchungen und die Ermittlung der

Konstanz oder Variabilität der Vererzung. Die Bohrung Cu Sp 131/09 erreichte eine Endteufe von 1 007,2 m und wurde im Rotliegend-Konglomerat ca. 26 m unter der Basis des Kupferschiefers eingestellt. Die Endteufe der Bohrung Cu Sp 136/09 betrug 1 082, 65 m, sie wurde in grauen gefalteten Tonschiefern, vermutlich des Devons, eingestellt.
Im Jahr 2011 führte die Firma DMT GmbH im Auftrag der KSL seismische Untersuchungen (3D-Seismik) des tiefen Untergrundes durch. Die Ergebnisse der Seismik bestätigten die bisherigen Erkenntnisse über die Struktur der Lagerstätte und konnten die Lagerstättenabgrenzung weiter präzisieren. Im Ergebnis entstand ein 3D-Bild des Erzkörpers, das weitere Planungen wie die Standortfestlegung von Schächten und die eines zukünftigen Abbauregimes erleichtert.
Im Ergebnis der Untersuchungskampagne wurde ein abschließender Lagerstättenbericht „Technological Resource Report Spremberg-Graustein-Schleife“ nach internationalem Standard erstellt (vgl. auch Tab. 2).

Im Mai 2014, während der Planung weiterer Erkundungsarbeiten und der Ausarbeitung von Antragsunterlagen für das Raumordnungsverfahren durch die KSL GmbH, gab ihr Mutterkonzern Minera S.A. bekannt, dass die Pläne zur Erschließung der Lagerstätte vorerst auf Eis gelegt werden. Grund dafür sei vor allem der stagnierende Weltmarktpreis für Kupfer. Die bisherigen Planungen und Vorarbeiten des Unternehmens könnten aber bei Veränderung verschiedener externer Faktoren vollinhaltlich weitergeführt werden (Abb. 16).
So gehen die bisherigen Unternehmensplanungen dahin, die Tagesanlagen des Bergwerkes im östlichen Außenbereich der Stadt Spremberg zu errichten. Die Lagerstätte soll über 2 Tagesschächte bergmännisch erschlossen werden. Der optimale Schachtstandort ergibt sich aus der Entfernung zu den beiden Lagerstättenteilen (Spremberg, Graustein), der Geologie der einzelnen Gesteinsschichten, der Tektonik des Gebirges sowie aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Neben den Schächten wird auf dem Betriebsgelände eine Aufbereitungsanlage geplant, die aus dem Roherz durch Flotationsverfahren ein Kupferkonzentrat anreichert. Dieses Konzentrat wird direkt an die weiterverarbeitende Industrie abgegeben werden.
Das geplante Kupferbergwerk ist gemäß der Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung bergbaulicher Vorhaben (UVP-V Bergbau) umweltverträglichkeitspflichtig, wodurch die Genehmigung im Rahmen eines bergrechtlichen Planfeststellungsverfahrens notwendig wird. Zuständige Genehmigungsbehörden sind die für das Land Brandenburg und für den Freistaat Sachsen zuständigen Bergbehörden. Da sich der überwiegende Teil des untertägigen Grubengebäudes sowie die Tagesanlagen, einschließlich der Zugangsschächte in Brandenburg befinden werden, wird die Federführung des Genehmigungsverfahrens voraussichtlich dem LBGR obliegen.
Bis zur unternehmerischen Entscheidung der Minera S.A. vom Mai 2014 war die KSL GmbH davon ausgegangen, mit der Förderung des Kupfererzes im Jahr 2024 beginnen zu können. Die Lebensdauer des Bergwerks wurde nach den vorliegenden Daten mit mindestens 20 Jahren angegeben.

Abb. 14: Öffentliche Zeremonie anlässlich des „Ziehens des letzten Bohrkerns“ auf der Bohrung Cu Sp 131/09, Spremberg 2010 (Foto: T. Höding)
Fig. 14: Public ceremony on the occasion of the „pull off of the last core” in the well Cu Sp 131/09, Spremberg 2010 (photo: T. Höding)

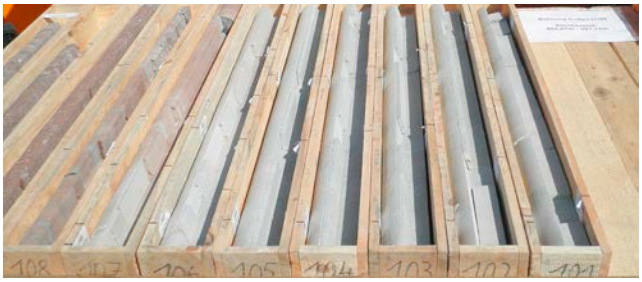

Abb. 15: Neu erbohrte öffentlich präsentierte Kerne der Kupferschiefererkundung – Bohrung Cu Sp 131/09, Spremberg 2010 (Foto: T. Höding)
Fig. 15: Cores of the „new“ well Cu Sp 131/09, Spremberg 2010 (photo: T. Höding)

Metallgehalte „indicated resources“ (115 Mio. t)	Kupfer	1,47 %
	Silber	24,1 g/t
	Blei	0,21 %
	Zink	0,09 %
	Gold	0,14 g/t
Metallgehalte „inferred resources“ (14,5 Mio. t)	Kupfer	1,46 %
	Silber	29,9 g/t
	Blei	0,28 %
	Zink	0,07 %
	Gold	0,03 g/t

Tab. 2: Metallgehalte in der Lagerstätte Spremberg-Graustein nach aktuellen Erkundungsergebnissen (KSL 2014)
Tab. 2: Raw material content of the Spremberg-Graustein deposit in accordance to the current process of exploration (KSL 2014)

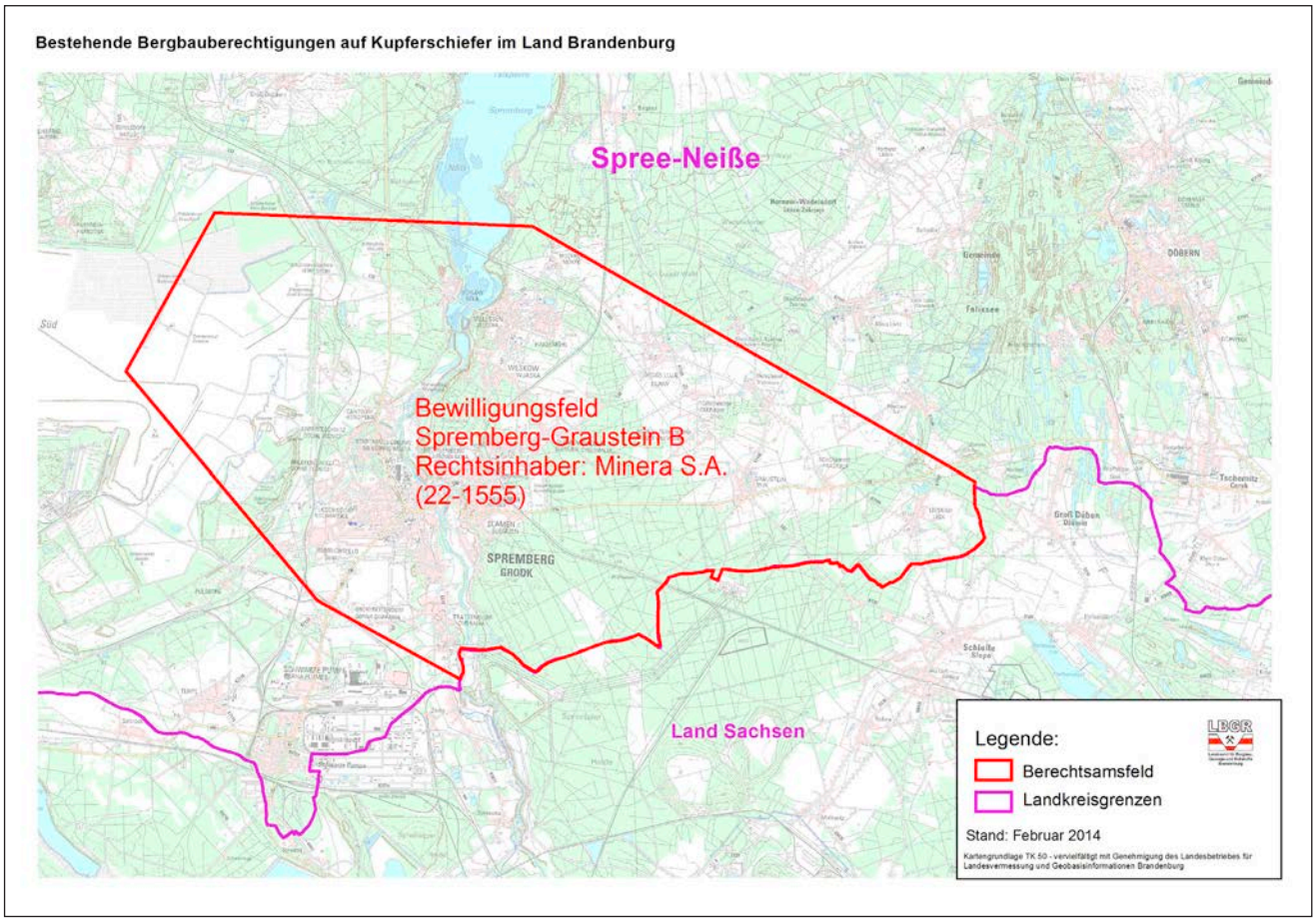

Abb. 16: Bewilligungsfeld Kupferschieferlagerstätte Spremberg-Graustein in Brandenburg, Stand 2014
Fig. 16: Concession of the copper deposit Spremberg-Graustein in the state of Brandenburg, as 2014

2.2 Eisenerz

In der westlichen Prignitz im Raum Perleberg treten Eisenerze lagerstättenbildend im Jura auf. Sie sind fast ausschließlich an den Höheren Korallenoolith des Malm gebunden. Ähnliche Erze wurden im Raum Salzgitter (Niedersachsen) bergbaulich gewonnen.
Die erkundete Eisenerz-Lagerstätte „Westliche Prignitz“ befindet sich geographisch nordwestlich von Perleberg im äußersten Nordwesten Brandenburgs (Abb. 17). Geologisch wird sie von den Aufwölbungen der Salzstrukturen Werle, Rambow, Wittenberge und Helle eingegrenzt.
Die Lagerstätte konnte im Verlauf dreier Erkundungsetappen (1960 – 1964, 1965 – 1967 und 1980 – 1984) ausgewiesen werden. Der Nutzhorizont des Höheren Korallenoolith befindet sich in einem Teufenbereich zwischen 600 und 1 000 m. Während er nach Westen und Südosten abtaucht, beißt er nach Norden und Süden teilweise aus. Im Höheren Korallenoolith sind zwei Flöze (Ober- und Unterflöz) ausgebildet. Die Erzmächtigkeit in beiden Flözen liegt zwischen 1,50 m und 3,50 m.
Das Eisenerz besteht aus Eisensilikatooiden (Goethit mit Kieselgel) und weist zu etwa 50 % eine tonig-mergelige Matrix auf. Der Eisengehalt im trockenen Roherz liegt zwischen 23 und 35 %. Eine getestete zweistufige Aufbereitung führte zu einem Erzkonzentrat mit > 48 % Fe. Die erkundeten Vorräte zeigt Tabelle 3.
Eine Erweiterung der Vorratssituation erscheint möglich (Beer & Eckhardt 1993, Höding et al. 2007).
Die bergbauliche Gewinnung der Eisenerze ist jedoch gegenwärtig aufgrund der gegebenen Lagerstättenkonditionen nicht rentabel. Die Eisengehalte sind im internationalen Vergleich zu gering. Zudem würden bei einem Abbau große Mengen salzhaltiger Lagerstättenwässer anfallen, deren Entsorgung problematisch ist. In den 1990er Jahren gab es kurz anhaltende Interessenbekundungen, die Lagerstätte durch einen biogeochemischen Lösungsbergbau zu erschließen, die sich jedoch vor einer bergrechtlichen Zulassung wieder zerschlugen. Für die Lagerstätte sind derzeit keine Bergrechte durch das LBGR vergeben. Aus diesen Gründen finden derzeit auch keine weiteren Erkundungsmaßnahmen statt.

Vorräte	Roherz bergfeucht	715 Mio. t
	Fe-Menge im Roherz	168 Mio. t

Tab. 3: Vorratszahlen der Eisenerzlagerstätte „Westliche Prignitz“ (gerundet, nach Erkundungsergebnissen)
Tab. 3: Reserves of the iron ore deposit Western Prignitz

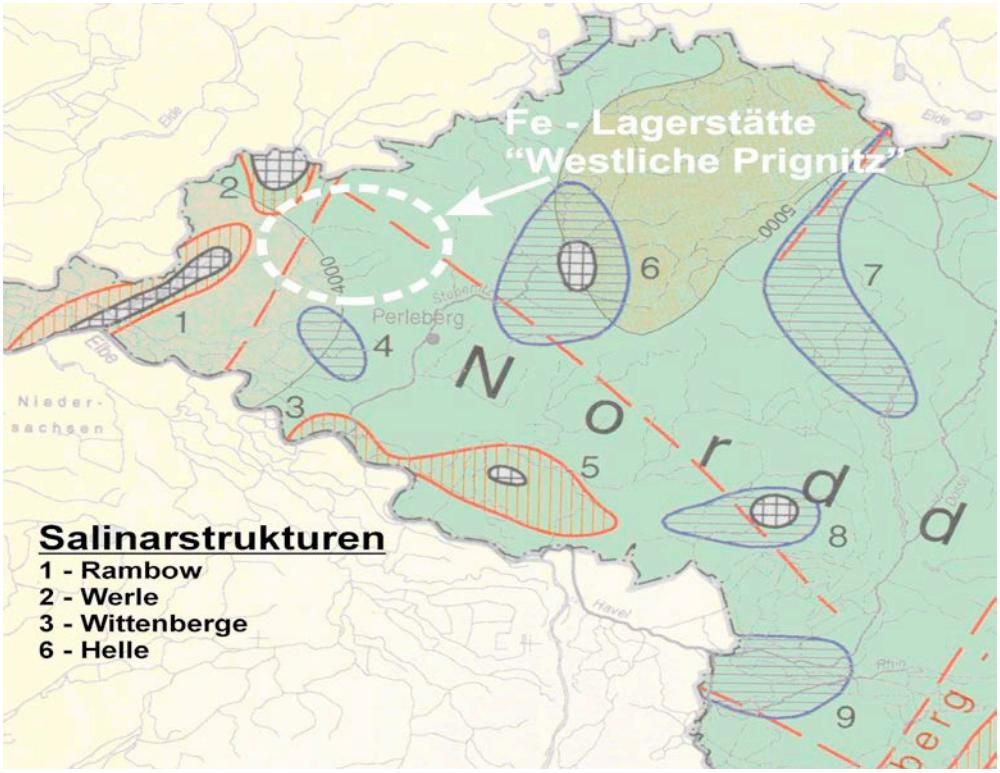

Abb. 17:
Lage der Eisenerzlagerstätte „Westliche Prignitz“ zwischen den Salinarstrukturen Rambow, Werle, Wittenberge und Helle

Fig. 17:
Position of the iron ore deposit „Western Prignitz” between the salt structures of Rambow, Werle, Wittenberge and Helle

Mehrere Hundert Meter Bohrkerne und Einzelproben aus den verschiedenen Erkundungsetappen der Lagerstätte sind im Bohrkern- und Probenarchiv des LBGR in Wünsdorf archiviert (Abb. 18).
Sie stehen sowohl für eine wissenschaftliche Bearbeitung als auch für potenzielle Nutzungsinteressenten an der Lagerstätte zur Verfügung. Auch hier dürfte – ähnlich wie bei der Kupferschieferlagerstätte Spremberg-Graustein – im Falle künftiger Untersuchungen im Vorfeld einer industriellen Nutzung für einen Investor ein Betrag von mehreren Millionen Euro einsparbar sein.

Abb. 18: Eisenerz „Westliche Prignitz“ – im Bohrkern- und Probenarchiv des LBGR archivierte Proben der Bohrung KW I/3/63 (Foto: T. HÖDING 2014)
Fig. 18: Iron ore „Western Prignitz“ – well cores from the well KW I/3/63 in the well core archive of the LBGR (photo: T. HÖDING 2014)

2.3 Anthrazit

Die Anthrazit-Lagerstätte Doberlug-Kirchhain (Landkreis Elbe-Elster) liegt nördlich der gleichnamigen Stadt bzw. grenzt direkt an das Stadtgebiet. Sie ist an die Werenzhainer Mulde gebunden, die sich westlich und nördlich der Stadt über eine Länge von etwa 13 km erstreckt. Ihre Muldenachse verläuft SW–NE. Westlich von Kirchhain grenzt der Südrand der Werenzhainer Mulde an den Kirchhainer Sattel, der im Kern von Unter- und Mittel-Kambrium aufgebaut wird und im Norden an das der Mitteldeutschen Kristallinzone vorgelagerte Mittel-Kambrium. Die Breite der Mulde beträgt westlich Kirchhain etwa 5 km. Die hier vorkommenden Schichten gehören dem Unter-Karbon (Ober-Visé) an und werden im Wesentlichen unterteilt in:

- „Werenzhainer Schichten“ (Konglomerate),
- „Kirchhainer Schichten“ (Tonschiefer, Kohleflöze),
- „Doberluger Schichten“ (Lyditgrauwacken) und
- „Finsterwalder Schichten“ (kalkbetonte Grauwacken, Kohlenkalke, Tonschiefer).

In die Schichten des Unter-Karbon sind Andesite intrudiert, die infolge ihrer Horizontbeständigkeit zur Schichtparallelisierung herangezogen wurden. Das Liegende bildet das Mittel-Kambrium.
Die Hauptflözführung ist an die Tonschiefer der Kirchhainer Schichten gebunden, während sowohl in der Konglomerat-

als auch der Grauwackenzone nur eine unbedeutende Flözführung gefunden wurde. Die Lagerung der Schichtfolgen ist im Allgemeinen flach mit einem Einfallen von etwa 10°. Sie werden von meist flach erzgebirgisch streichenden Störungen durchzogen, die oft bis in das Deckgebirge reichen und für eine hydrogeologisch komplizierte Situation mit verantwortlich sind.

Die Erkundung der Lagerstätte wurde bereits vor 1945 begonnen, konnte jedoch erst zwischen 1947 und 1956 abgeschlossen werden. Dazu sind insgesamt mehr als 120 Tiefbohrungen mit Teufen bis zu 700 m niedergebracht worden. Sie trafen 19 Flözpartien mit einer Mächtigkeit von bis zu 2 m an. Jedoch konnten die entscheidenden Erkundungsergebnisse erst durch das Abteufen des Untersuchungsschachtes „Kirchhain I“, der planmäßig seine Endteufe von 428,8 m (Pumpensumpf) erreichte, erzielt werden (Abb. 19). Auf der 407 m-Sohle wurde ein 1 147 m langer Untersuchungsquerschlag nach Norden aufgefahren, an den sich mehrere senkrecht dazu verlaufende Grundstrecken mit Längen bis zu 300 m anschlossen (Bührig 1958, Beer, Eckhardt & Göthel 2010; vgl. auch Abb. 20).

Die Anthrazitlagerstätte Doberlug-Kirchhain enthält 19 Flözpartien, von denen 11 infolge ihrer Ausbildung als Brandschiefer (Kohle mit 35 – 65 % Glührückstand) und

Abb. 20: Anthrazit Doberlug-Kirchhain – im Bohrkern- und Probenarchiv des LBGR archivierte Probe (Foto: D. Mehlau 2014)

Fig. 20: Anthracite Doberlug-Kirchhain – sample archived in the well core archive of the LBGR (photo: D. Mehlau 2014)

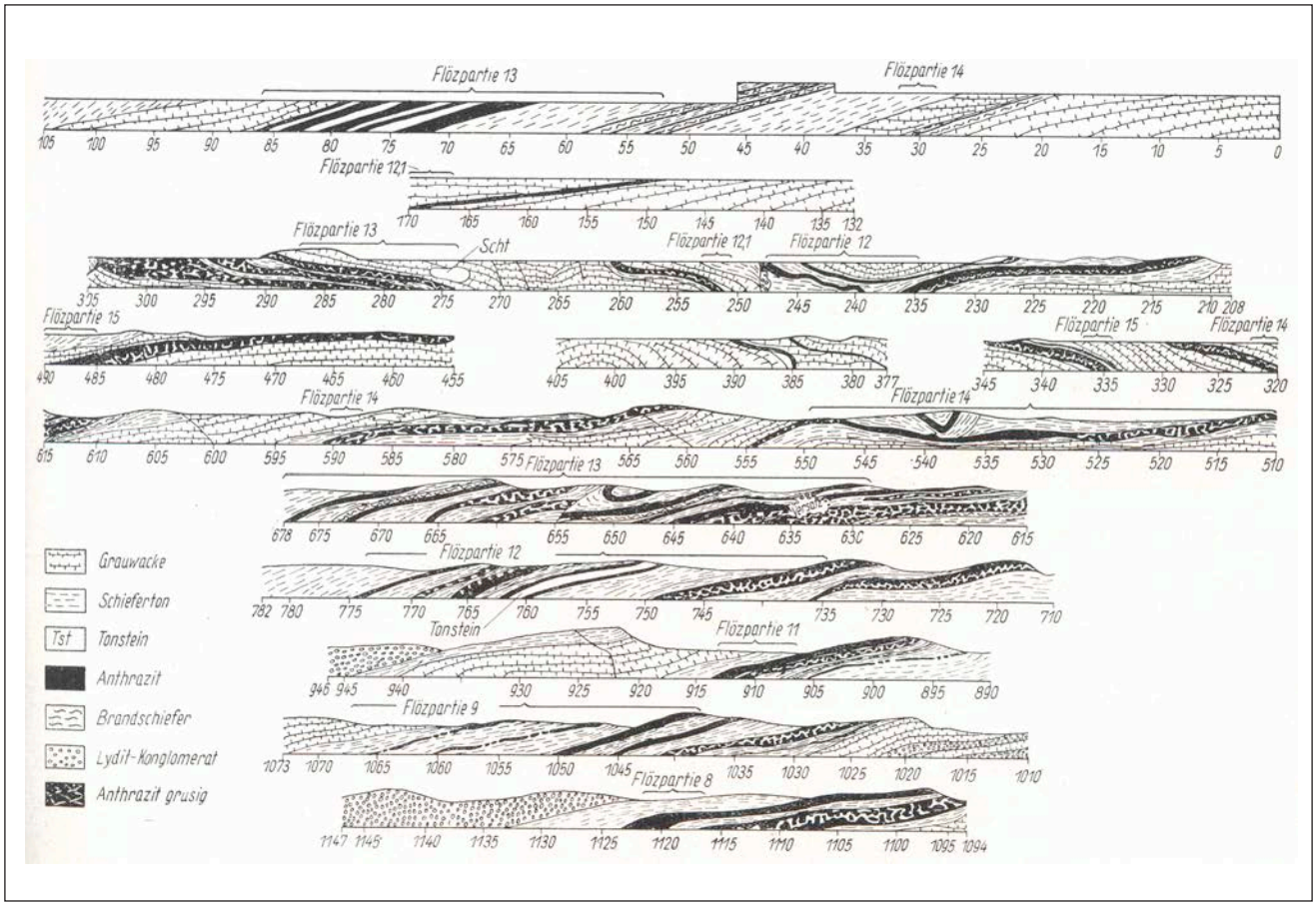

Abb. 19: Schnitt durch den Nord-Untersuchungsquerschlag auf der 407 m-Sohle im Untersuchungsschacht „Kirchhain I“ (Bührig 1958)

Fig. 19: Section through the northern cross-cut on the 407 m level in the testing shaft “Kirchhain I” (Bührig 1958)

geringer Mächtigkeit (< 0,3 m) in die Vorratsberechnungen von 1960 nicht einbezogen wurden.
Die Vorräte betragen auf 27 km² Fläche ca. 70 Mio. t. Es sind 7 Flöze, verteilt auf 9 bis 10 Flözbänke, mit bilanzwürdigen Vorräten vorhanden, die allerdings eine unterschiedliche Verbreitung aufweisen. Im Falle einer Gewinnung würde sich ein Dreiflözbergbau mit den Flözen 12, 13 und 15 ergeben, da diese etwa 90 % der berechneten Vorräte enthalten.
Aufgrund der geringen Größe dieses isolierten intramontanen Vorkommens und der hohen zu erwartenden Aschegehalte (Brandschiefer) erfolgte im Nachgang der Erkundung kein Abbau. Auch für die Zukunft ist keine bergbauliche Gewinnung zu erwarten.

2.4 Uranerz

Die ursprünglich auf Sachsen und Thüringen fokussierte Uranerz-Erkundung der SDAG Wismut erreichte in den 1950er und 1960er Jahren auch das Gebiet des heutigen Bundeslandes Brandenburg. Die Suche konzentrierte sich dabei auf den Fläming und auf den südbrandenburgischen Raum.
Nahe der Stadt Herzberg (Landkreis Elbe-Elster) konnte dabei eine kleinere Uranerzlagerstätte nachgewiesen werden (Beer, Eckhardt & Göthel 2010). Eine Detailerkundung erfolgte nicht, da eine Rohstoffgewinnung nicht zu erwarten war. Auch zum heutigen Zeitpunkt liegen keine belastbaren lagerstättengeologischen Daten vor. Bergrechte für diese Lagerstätte wurden durch das LBGR nicht verliehen.

3. Speicherpotenziale

Brandenburg verfügt im Untergrund über ein besonders perspektivreiches Speicherpotenzial für die behälterlose unterirdische Speicherung von Kohlenwasserstoffen und anderen Medien, im Folgenden vereinfacht als Untergrundspeicherung bezeichnet. Stratigraphisch betrifft dies insbesondere die Gesteinsformationen des Zechsteinsalzes für die Anlage von Kavernenspeichern und die mesozoischen Sandstein-Aquifere im Mittleren Buntsandstein sowie jene vom Keuper bis zum Mittel-Jura für die Anlage von Porenspeichern, teils auch Oberrotliegend und Kreide. Die Unterschiede zwischen beiden Speicherprinzipien verdeutlicht Abbildung 21.
Untergrundspeicher können zunehmende Bedeutung für die Zwischenlagerung von Gas, von flüssigen Energieträgern, als Druckluftspeicher, zur Wärme- bzw. Kältespeicherung sowie z. T. als unterirdische Deponien erlangen.

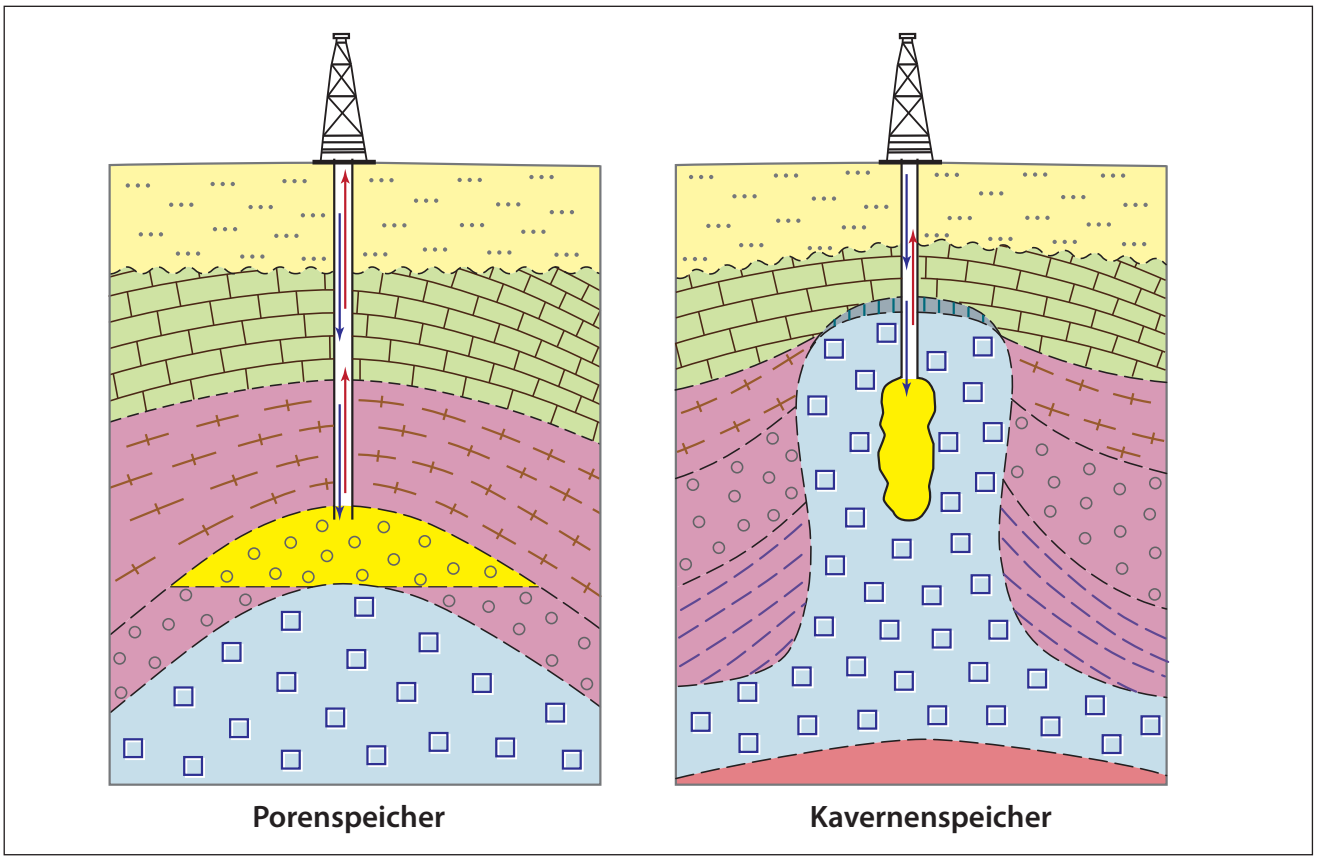

Abb. 21: Darstellung der Speicherprinzipien von Porenspeichern (z. B. in mesozoischen Sandsteinaquiferen, links) und Kavernenspeichern (im Zechsteinsalinar, rechts)
Fig. 21: Principle of storage in porous rocks (for example mesozoic sandstones – left) and in caverns (for example salt of the Zechstein – right)

Die Untergrundspeicherung von gasförmigen und flüssigen Rohstoffen und Energieträgern dient dem Ausgleich jahreszeitlich bedingter Bedarfsschwankungen, der Abdeckung von großen Bedarfsspitzen sowie als strategische und Havariereserve (Obst 2011). Auch der Einsatz zur Bezugsoptimierung unter Ausnutzung schwankender Gaspreise ist von Bedeutung (Lbeg 2013).

Für die Anlage von Kavernenspeichern eignen sich Salzstöcke und Salzkissen mit Steinsalzmächtigkeiten von mehr als 150 m und Tiefenlagen der Steinsalzoberfläche bis ca. 1 000 m. Diese Strukturen entstanden durch die Mobilisierung der Zechsteinsalze. Durch Salzabwanderung, Salzakkumulationen und Subrosion erfolgte eine starke regionale Differenzierung der Mächtigkeit der Zechsteinsalze (vgl. auch Beitrag M. Göthel & N. Hermsdorf, dieses Heft). Anhaltspunkte für derartige Strukturen liefert die Abbildung 22, die in einer 3D-Darstellung plastisch die sehr variable Tiefenlage der Zechsteinoberfläche zeigt.

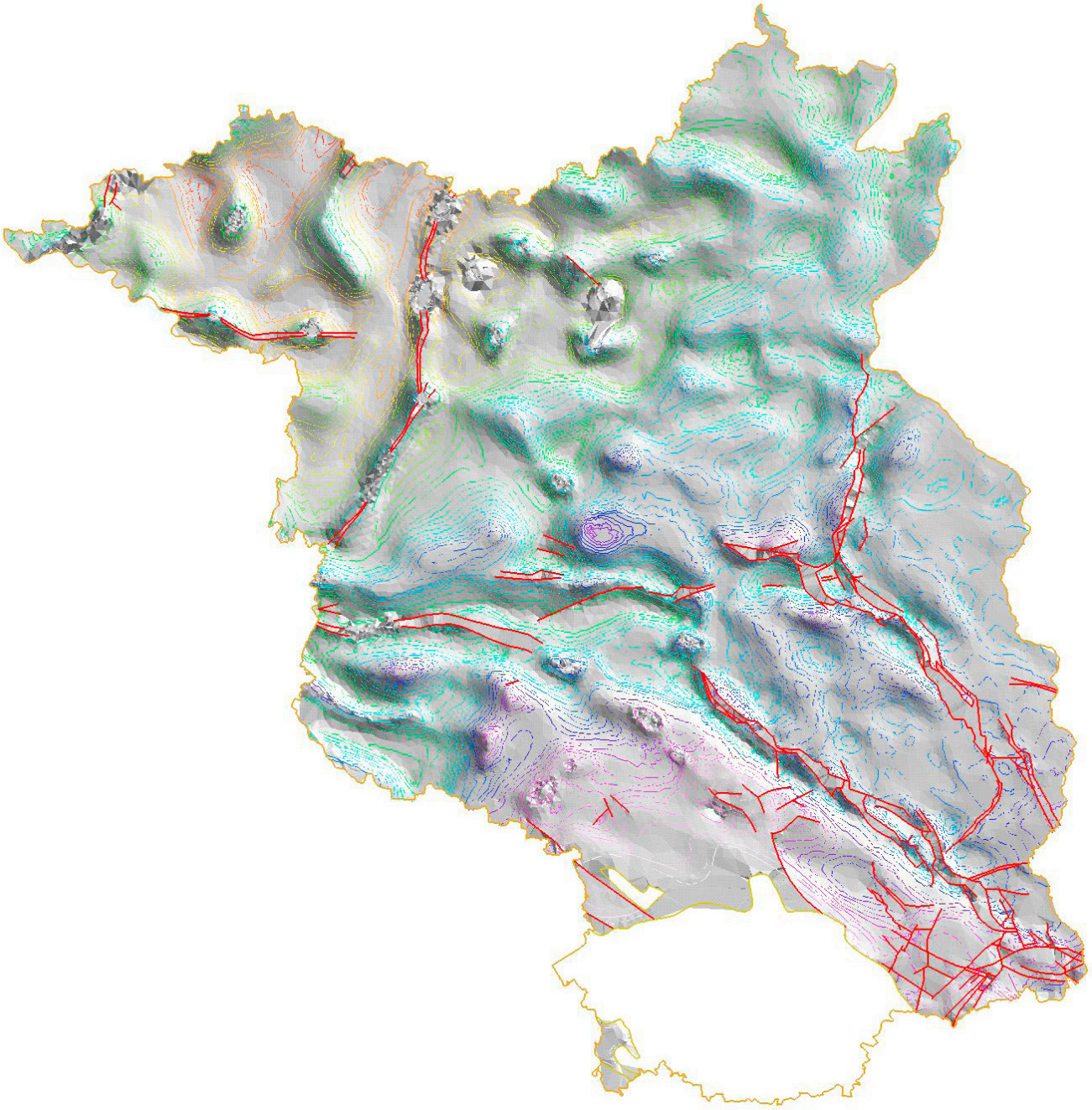

Abb. 22: Vereinfacht modellierte Zechsteinoberfläche in Brandenburg als 3D-Darstellung mit Hauptstörungszonen (aus Höding, Göthel & Stackebrandt 2009)

Fig. 22: Surface of the Zechstein subdivision in Brandenburg as a 3D-view with isolines and main fault zones (from Höding, Göthel & Stackebrandt 2009)

Im detaillierter aufgelösten 3D-Modell des Landes Brandenburg heben sich die einzelnen Salinarstrukturen noch deutlicher ab und vermitteln einen Eindruck über ihre vielgestaltige Größe, Form und Teufenlage (Abb. 23).
Durch Bohrungen, die vorrangig der Erdöl-Erdgas-Erkundung dienten sowie durch ein dichtes Netz geophysikalischer Untersuchungen kann das Bild der Oberfläche und der bestehenden Strukturen des Zechstein in Brandenburg als gut bekannt angesehen werden. Für den Internbau der betrachteten Salzstrukturen trifft dies nur mit Einschränkungen zu (Abb. 24).
Salzkissen sind dabei prinzipiell besser für die Anlage von Kavernenspeichern geeignet als Salzstöcke, da deren interner Bau meist weniger gestört ist. Dafür jedoch liegen sie meist tiefer. Maßgeblich für die Eignung von Salzgesteinen für die Anlage von Kavernenspeichern ist deren Gasdichtheit. In Salzstöcken können die Salzgesteine bis über 2 000 m mächtig werden. Über Bohrungen können in diesen Salzgesteinen durch gezielte „Ausspülung“ mit Wasser (Süßwasser bzw. Halbsole) Kavernen ausgesolt werden, die dann als Speicher nutzbar sind.

Durch den Geologischen Dienst Brandenburg wurden 31 Salinarstrukturen (Salzstöcke bzw. Salzkissen) kartiert, die perspektivisch Speichermöglichkeiten in Kavernen bieten. Eine dieser Strukturen – Rüdersdorf – wurde bereits zur Anlage von Kavernen genutzt (Abb. 25 und 26). Die meisten der kartierten Strukturen weisen Salzmächtigkeiten von mehr als 2 000 m auf und die Teufenlage der Steinsalzoberfläche liegt meist zwischen 100 und 500 m, kann in Einzelfällen aber auch 1 500 m erreichen. Abstufungen in der perspektivischen Tauglichkeit dieser Strukturen werden vor allem durch die Merkmale tektonischer Internbau, Gesamtsalzmächtigkeit und Teufenlage der Salzoberfläche bestimmt.

Neben der Speicherung von Kohlenwasserstoffen können Kavernen auch Bedeutung für die Speicherung von Druckluft, als Wärme- und Kältespeicher sowie für Wasserstoff, Methan oder industrielle Abprodukte erlangen. Für das Land Brandenburg ist es am ehesten denkbar, dass in der Zukunft Eignungsuntersuchungen für die Wasserstoffspeicherung in Kavernen durchgeführt werden könnten. Dies wäre für das Land Brandenburg von besonderem Interesse, um aus regenerativen Quellen erzeugten Wasserstoff zu puffern, wie z. B. durch Elektrolyse aus überschüssigem Windstrom gewonnenen Wasserstoff. Dieser Wasserstoff kann dann in bestimmten Mengen direkt dem Stadtgas beigemischt werden.
Die Eignung von Salzkavernen für die Wasserstoffspeicherung ist bereits an den Standorten Teesside (Großbritannien) und Clemens Dome (USA) nachgewiesen (HAMELMANN 2008, CROTOGINO & HAMELMANN 2008), wobei die in den USA betriebenen Wasserstoff-Speicherkavernen hinsichtlich Teufenlage und Volumen solchen Kavernen entsprechen, die auch in brandenburgischen Salzstrukturen angelegt werden könnten.
Da in Wasserstoff eine hohe Energiemenge steckt, ist eine sehr hohe Speicherbarkeit pro Volumeneinheit erreichbar (bis zu 350 kWh/m^3). Das ist wesentlich mehr als bei

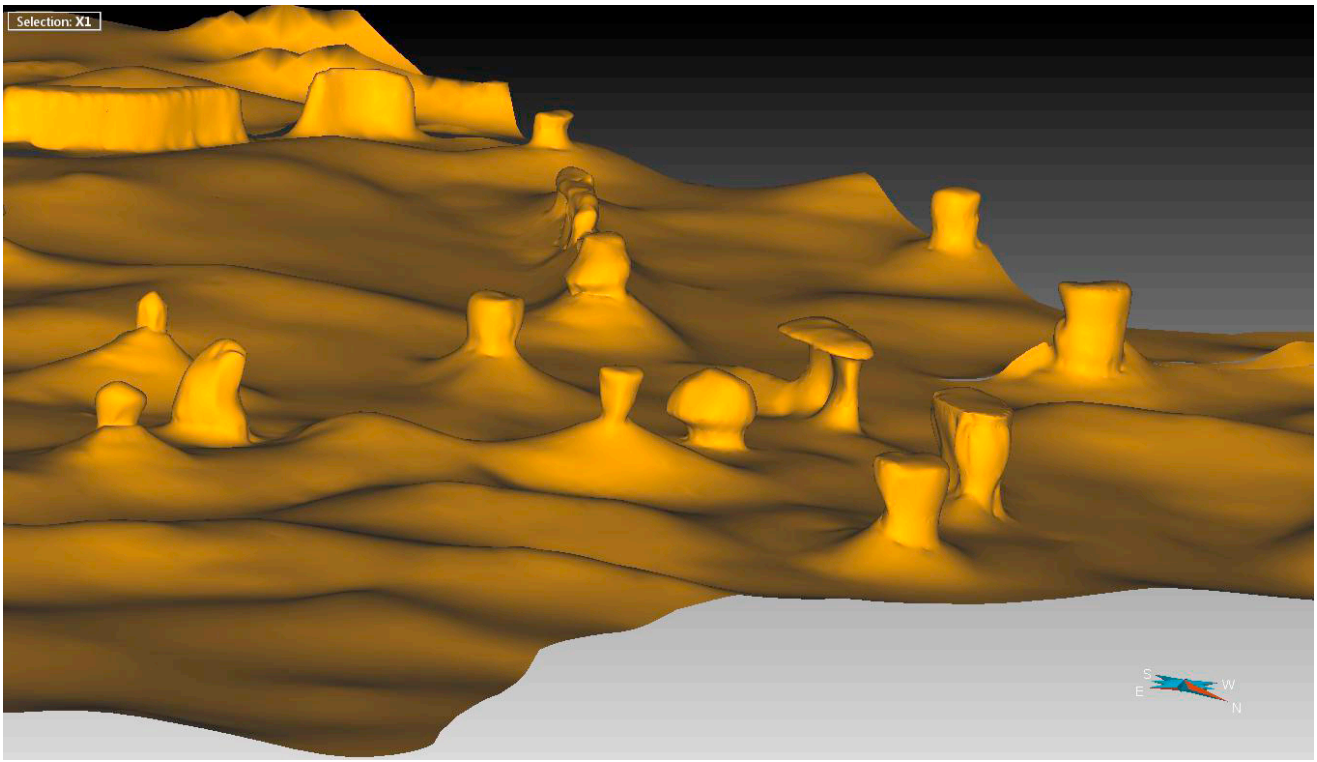

Abb. 23: Salinarstrukturen in Nordostbrandenburg im Raum Perleberg-Wittstock im 3D-Modell. Screenshot Modell Brandenburg 3D (SIMON 2014)

Fig. 23: Salt structures in the northeast of Brandenburg near Perleberg and Wittstock in a 3D view. Screenshot from a 3D-model of Brandenburg (SIMON 2014)

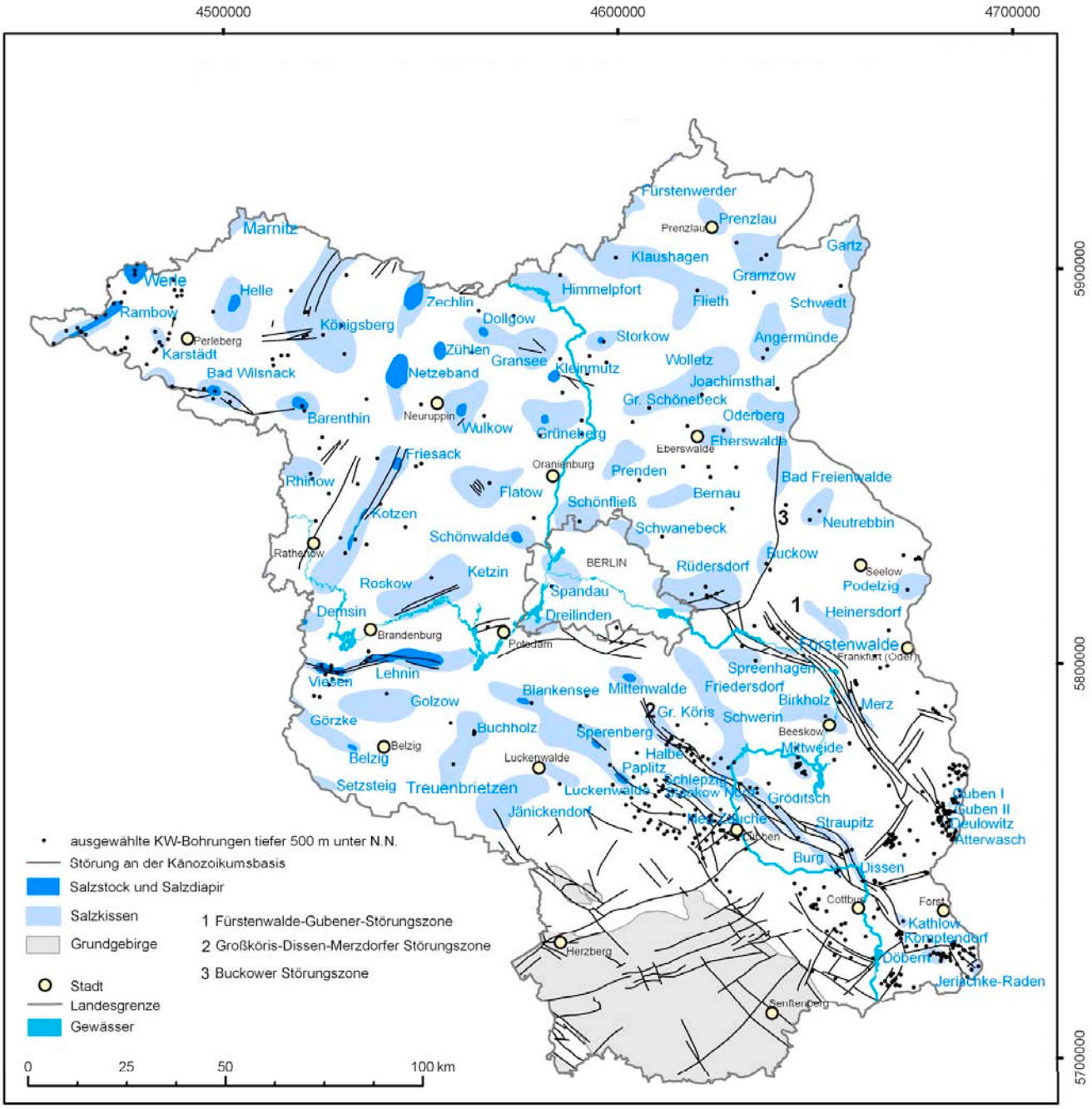

Abb. 24: Salinarstrukturen, Bruchtektonik und Bohrungen der Kohlenwasserstoff-Erkundung in den Ländern Brandenburg und Berlin (bearbeitet nach Reinhold, Krull & Kockel *2008 aus* Bebiolka, Göthel & Höding *2011)*

Fig. 24: Salt structures, fault zones and wells of the hydrocarbon exploration in the states of Brandenburg and Berlin (modified after Reinhold, Krull & Kockel *2008, from* Bebiolka, Göthel & Höding *2011)*

Druckluftspeichern (ca. 2,7 kWh/m³) und wird derzeit nur noch durch die Energiespeicherung in Lithium-Ionen-Akkus erreicht (Buck 2009).

Erste Interessenbekundungen zur Wasserstoffspeicherung in Kavernen wurden von Energieerzeugern Brandenburgs bereits geäußert (Cme 2013) und das Vorhandensein entsprechender potenziell geeigneter Salzstrukturen beispielsweise im Gebiet der Kyritz-Ruppiner Heide im Nordwesten des Landes durch den Geologischen Dienst bestätigt (Höding 2011).

Genauso denkbar und nach ähnlichen Prinzipien verlaufend wäre künftig auch eine Speicherung von Methan, das aus zu puffernden Überschussenergien über eine synthetische Methanisierung aus CO_2 und Wasserstoff hergestellt werden kann. Welcher der beiden Wege sich technologisch durchsetzt, ist derzeit nicht abzusehen.

Für die Anlage von Porenspeichern eignen sich mesozoische Sandsteine in strukturellen Hochlagen, wenn sie durch abdichtende Deckschichten wie Salze und/oder to-

Abb. 25: Ansicht der Tagesanlagen des Kavernenspeichers der EWE GmbH in Rüdersdorf (Foto: EWE Gasspeicher GmbH Rüdersdorf 2011)

Fig. 25: View on the surface plant of the cavern storage site of the EWE GmbH in Rüdersdorf (photo: EWE Gasspeicher GmbH Rüdersdorf 2011)

Abb. 26: Sonarbild (mittels Ultraschall vermessener Hohlraum) der Kaverne K 102 der EWE GmbH in Rüdersdorf, Quelle: SOCON Sonar Control Kavernenmessung GmbH

Fig. 26: Sonar picture of the cavern K 102 of the EWE GmbH in Rüdersdorf, source: SOCON Sonar Control Kavernenmessung GmbH

nige Gesteine überlagert werden und Bruchstörungen oder Störungssysteme keine Wegsamkeiten für die zu speichernden Medien schaffen, also „verheilt“ sind.

Durch das Einleiten von Gas über Bohrungen wird das Schichtwasser in diesen Aquiferen verdrängt und es entstehen künstliche Gaslagerstätten. Die Entnahme von Gas aus diesen soll vor allem die jahreszeitlich bedingten Bedarfsschwankungen ausgleichen.

Zur Ausbildung der strukturellen Hochlagen (Antiklinalstrukturen) mesozoischer Sandsteine führte die Mobilisierung der Zechsteinsalze im Untergrund. Die potenziellen mesozoischen Speicherstandorte finden sich somit im Hangenden zahlreicher Salzkissen, die außer im Südwesten (Lausitzer Triasscholle und westlich davon gelegene Triasausstrichgebiete) prinzipiell im ganzen Land vorhanden sind (Abb. 27).

Die Teufenlagen der Speicherhorizonte und die Mächtigkeiten der Bedeckung sind dabei abhängig vom konkreten Standort im Land und werden generell durch das Absinken der Schichten des Norddeutschen Beckens in Richtung Nordwest (beckentiefster Bereich im westlichen Mecklenburg-Vorpommern) bestimmt (zur Entwicklung des Norddeutschen Beckens und seines Stoffbestandes vgl. Littke et al. 2008). Im Süden trennen die Mitteldeutschen Hauptabbrüche das Norddeutsche Becken vom variszisch konsolidierten Grundgebirge der Lausitz. Dort finden sich keine für eine Untergrundspeicherung geeigneten Sandsteine mehr.

Stratigraphisch sind derartige potenzielle Speicherhorizonte in Brandenburg vor allem im Oberrotliegend II, im Mittleren Buntsandstein, vom Keuper bis zum Mittleren Jura sowie in der Unterkreide zu finden. Regionale Verbreitung und Mächtigkeit der wichtigsten Speicherhorizonte wurden durch Bebiolka, Göthel & Höding (2011) untersucht, eine aktuelle detaillierte Darstellung der wichtigsten Aquifere und Aquiferkomplexe, die sowohl für die Untergrundspeicherung als auch für die hydrothermale Geothermie interessant sein könnten, gibt M. Göthel in diesem Heft.

Durch den Geologischen Dienst Brandenburgs wurden 23 potenziell für eine Untergrundspeicherung nutzbare Sandsteinstrukturen in Teufen zwischen 500 und 1 400 m kartiert (Manhenke 2010). Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass für Speichervorhaben von bestimmten Medien unter Umständen weitere spezielle Anforderungen erfüllt sein müssen. Für die einige Jahre lang auch in Brandenburg betriebene Suche nach Speichermöglichkeiten für CO_2 (CCS-Technologie) wurden beispielsweise Teufenlagen der Speicherhorizonte von mindestens 800 m unter Gelände gefordert (Höding, Göthel & Stackebrandt 2009, Bebiolka, Göthel & Höding 2011).

Detaillierte geologische Erkundungen sind in jedem Fall notwendig, um die Eignung einer Struktur als Porenspeicher zu belegen. Dass derartige Erkundungsarbeiten trotz der gegebenen geologischen Grundvoraussetzungen nicht immer zum Erfolg führen, zeigt das Beispiel des Erkundungsobjektes Schweinrich bei Wittstock (Landkreis Ostprignitz-Ruppin), wo die Erkundungsarbeiten zur Errichtung eines Untergrundgasspeichers durch die Firma Gazprom Germa-

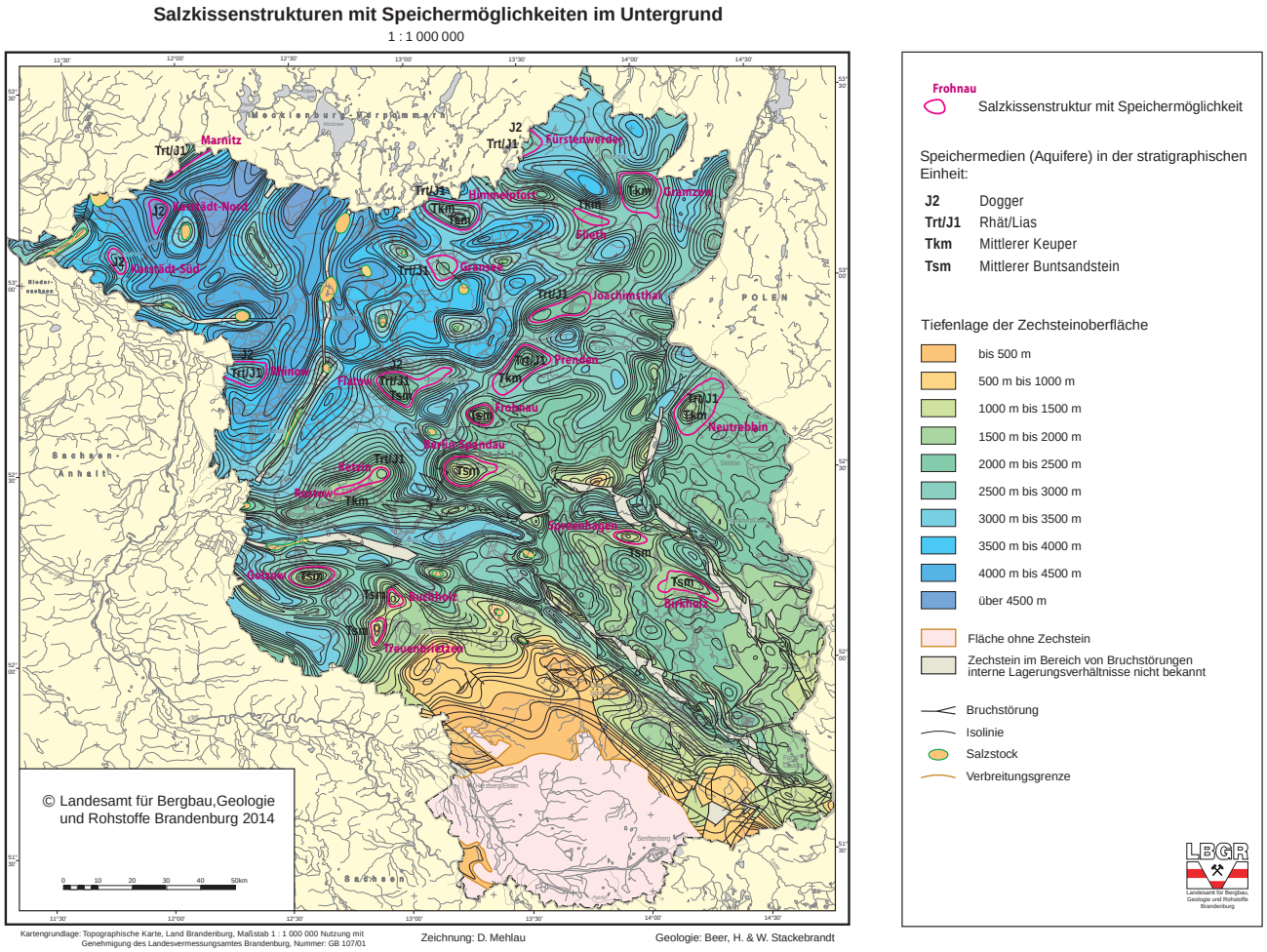

Abb. 27: Salzkissenstrukturen in Brandenburg mit der Möglichkeit zur Anlage von Porenspeichern im Hangenden (Auswahl), Basis: Karte der Tiefenlage der Zechsteinoberfläche 1 : 1 000 000 (Beer & Stackebrandt 2010) (aus Höding, Göthel & Stackebrandt 2009)

Fig. 27: Salt pillow structures in Brandenburg with the possibility of building porous underground storage sites in their hanging layers (selection). Base: map of the subsurface contours of the Zechstein 1 : 1 000 000 (Beer & Stackebrandt 2010) (from: Höding, Göthel & Stackebrandt 2009)

nia Mitte 2009 eingestellt wurden. Die Daten einer niedergebrachten Aufschlussbohrung (Ug Swi 1/09) zeigten zwar günstige petrophysikalische Eigenschaften des Speichergesteins an, die Parameter der abdeckenden Schichten erwiesen sich jedoch für das Vorhaben als ungünstig, u. a. weil die Einspeicherung eines hohen Anteils an Kissengas für einen Speicherbetrieb notwendig gewesen wäre.

Für eine unterirdische behälterlose Speicherung potenziell geeignet sind ferner ausgeförderte Kohlenwasserstofflagerstätten (vgl. Kap. 1 Kohlenwasserstoffe). Planungen für eine Speichererrichtung in diesen Strukturen existieren derzeit in Brandenburg jedoch nicht. Fast alle dieser Lagerstätten wurden um die Jahrtausendwende trotz des Vorhandenseins weiterer Vorräte bzw. Restvorräte aus wirtschaftlichen Gründen (damaliger Erdöltiefpreis) stillgelegt und viele Bohrungen verwahrt.
Ebenfalls technisch möglich und anderswo betrieben ist eine behälterlose Untergrundspeicherung in Felskavernen oder aufgegebenen Grubenbauen. Derartige Interessen, die sich wohl ausschließlich auf den Süden des Landes konzentrieren würden, sind in Brandenburg jedoch bisher nicht geäußert worden.

Seit 2011 unternehmen Bund und Länder einen neuen Anlauf zur Gestaltung eines Verfahrens zur Endlagersuche für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle. Dazu soll zunächst ein Standortauswahlgesetz verabschiedet werden und im Anschluss daran in einem transparenten, kriterienbasierten Standortauswahlverfahren, ausgehend von einer „weißen“ Deutschlandkarte, ein Weg zu einem Endlager gefunden werden. Die Rolle Brandenburgs in diesem Prozess lässt sich derzeit nicht abschätzen, ebenso wenig das zukünftig präferierte Grundprinzip einer Einlagerung (Lagerung in kristallinen Gesteinen, Salzstrukturen oder Tongesteinen).
Abbildung 28 und Tabelle 4 geben einen Überblick über die derzeitigen Speicheraktivitäten im Untergrund von Brandenburg und Berlin.

Name	Speichertyp	Speichermedium	Speichergestein/Stratigraphie	Besonderheiten
Buchholz	Aquifer	Erdgas	Sandstein/Buntsandstein	Erdgasspeicher der Verbundnetz Gas AG, ca. 175 Mio. m³ Arbeitsgasvolumen
Berlin	Aquifer	Erdgas	Sandstein/Buntsandstein	Erdgasspeicher der GASAG, ca. 780 Mio. m³ Arbeitsgasvolumen
Ketzin	Aquifer	Kohlendioxid	Sandstein/ Keuper/Stuttgart-Formation	Speicher unterhalb eines ehemaligen Gasspeichers in derselben Struktur angelegt, ca. 61 000 t CO_2 Inhalt
Rüdersdorf	Kavernen-speicher	Erdgas	Salz/ Zechstein	Erdgasspeicher der EWE AG, ca. 47 Mio. m³ Arbeitsgasvolumen (K101), eine weitere Kaverne bereits gesolt
Berlin (Reichstag)	Aquifer	Kälte- und Wärme-speicherung	Lockergestein/Pleistozän (Kälte); Sandstein/Jura/Hettang-Untersinemur (Wärme)	Kälte- und Wärmespeicherung

Tab. 4: Derzeit betriebene Untergrundspeicher in den Ländern Brandenburg und Berlin
Tab. 4: Underground storage sites in the states of Brandenburg and Berlin

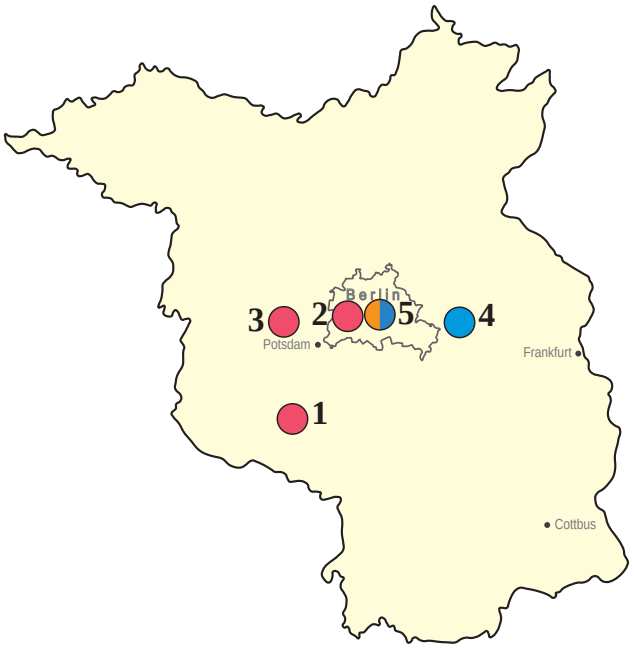

Abb. 28:
Überblickskarte über Standorte von Untergrundspeichern in den Ländern Brandenburg und Berlin
1 – Aquiferspeicher Buchholz;
2 – Aquiferspeicher Berlin;
3 – Aquiferspeicher Ketzin;
4 – Kavernenspeicher Rüdersdorf;
5 – Kälte- und Wärmespeicher Berlin (Reichstag)

Fig. 28:
Map of underground storage sites in the states of Brandenburg and Berlin

Literatur

BEBIOLKA, A., GÖTHEL, M. & T. HÖDING (2011): Speicher- und Barrieregesteine im tiefen Untergrund von Brandenburg und Berlin. – Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften **74**, S. 82 – 111, Hannover

BEER, H. & G. ECKHARDT (1993): Erläuterungen zur Karte der tiefliegenden Bodenschätze des Landes Brandenburg (Vorkommen und Nutzung) 1 : 300 000. – 21 S., Kleinmachnow

BEER, H. (2000): Geologische Übersichtskarte des Landes Brandenburg 1 : 300 000, Tiefenlinienkarte der Zechsteinoberfläche. – Karte, Kleinmachnow/Potsdam

BEER, H. & W. STACKEBRANDT (2010): Tiefenlage der Zechsteinoberfläche. – In: STACKEBRANDT, W. (Hrsg.): Atlas zur Geologie von Brandenburg. – 4. Aufl., S. 82 – 83, Cottbus

BEER, H., ECKHARDT, G. & M. GÖTHEL (2010): Tiefliegende Bodenschätze. – In: STACKEBRANDT, W. (Hrsg.): Atlas zur Geologie von Brandenburg. – 4. Aufl., S. 128 – 129, Cottbus

BUCK, C. (2009): Zukunft der Energienetze – Energiespeicher. – Pictures of the future, Ausgabe Herbst 2009, München (Siemens)

BÜHRIG, K. (1958): Die bergmännische Erkundung des Steinkohlenvorkommens in der Werenzhainer Mulde westlich Kirchhain N.-L. – Bergbautechnik **8**, 2, S. 59 – 75, Berlin

CME (2013): Clustermanagement Energietechnik Berlin-Brandenburg. – Tagung Rüderdsorf 04.12.2013, Rüdersdorf

CROTOGINO, F. & R. HAMELMANN (2008): Wasserstoff-Speicherung in Salzkavernen zur Glättung des Windstromangebots (2008) zitiert nach:

http://www.ipp.mpg.de/ippcms/ep/ausgaben/ep200802/bilder/wasserstoff_speicher.pdf, Zugriff am 09.03.2011

Göthel, M. (2012): Aktuelle Informationen zur stratigraphischen Zuordnung eustatisch und tektonisch kontrollierter Ablagerungssequenzen des Zechsteins im Rahmen der plattentektonischen und paläogeographischen Situation zwischen Gondwana und dem geotektonischen Puzzle Europas. – Brandenburg. geowiss. Beitr. **19**, 1, S. 29 – 42, Cottbus

Hamelmann, R. (2008): Stromspeicher Wasserstoff. – NOW Workshop 2008 - Regenerativer Wasserstoff aus der Elektrolyse, Tagungsband, S. 16, Ulm

Hampel, T. (2012): Der bohrende Holländer. – Profirma 01/02 2012, S. 12 – 15, Würzburg (Haufe)

Hennig, D. (1974): Ergebnisbericht über die Erkundung der Kupferlagerstätte Spremberg-Graustein von 1970-1974. – Bericht GFE Halle, BT Freiberg, 364 S., Freiberg (unveröff.)

Höding, T., Andreae, A., Benisch, H.-J., Göthel, M., Grunert, U., Kopp, J., Ludwig, F., Nestler, P., Renkert, B., Sitschick, H., Stackebrandt, W., Thiem, H.-G. & E. Wetzel (2007): Mineralische Rohstoffe und Energierohstoffe im Land Brandenburg. Rohstoffbericht Brandenburg 2007. – Brandenburg. geowiss. Beitr. **14**, 2, S. 5 – 110, Cottbus

Höding, T., Göthel, M. & W. Stackebrandt (2009): Geologische Möglichkeiten für die CO_2-Speicherung in Brandenburg. – Brandenburg. geowiss. Beitr. **16**, 1/2, S. 1 – 18, Cottbus

Höding, T. (2011): Geologische Einschätzung zur Errichtung von Kavernenspeichern im Bereich der Kyritz-Ruppiner Heide. – Bericht LBGR, 24 S., Cottbus (unveröff.)

Hoth, K., Rusbült, J., Zagora, K., Beer, H. & O. Hartmann (1993): Die tiefen Bohrungen im Zentralabschnitt der Mitteleuropäischen Senke – Dokumentation für den Zeitabschnitt 1962-1990. – Schriftenr. für Geowissenschaften **2**, 145 S., Berlin

Kopp, J., Herrmann, S., Höding, T., Simon, A. & B. Ullrich (2008): Die Kupfer-Silber-Lagerstätte Spremberg-Graustein (Lausitz, Bundesrepublik Deutschland) – Buntmetallanreicherungen an der Zechsteinbasis zwischen Spremberg und Weißwasser. – Z. geol. Wiss. **36**, 1, S. 75 – 114, Berlin

Kopp, J., Spieth, V. & T. Höding (2010): Revival of Copper Mining in Germany. – Mining Reporter 2/2010, S. 43 – 53, Essen

Ksl GmbH (Hrsg.) (2010): Endbericht der Erkundungsergebnisse für den brandenburgischen Teil des Erlaubnisfeldes Spremberg – Graustein – Schleife. – Erkundungsbericht, 97 S., 7 Anl., Spremberg (unveröff.)

Ksl (2014): www.kslmining.com, Zugriff am 25.02.2014

Lbeg (2013): Erdöl und Erdgas in der Bundesrepublik Deutschland 2012. – Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen, 60 S., 15 Anl., Hannover

Liedtke, M. & J. Vasters (2010): Renaissance des deutschen Kupferschieferbergbaus? – Commodity Top News Nr. **29**, S. 1 – 15, Hannover

Littke, R., Bayer, U., Gajewski, D. & S. Nelskamp (Hrsg.) (2008): Dynamics of Complex Intracontinental Basins. The Central European Basin System. – 520 S., Berlin, Heidelberg (Springer)

Manhenke, V. (2010): Das Geopotenzial Brandenburgs. – In: Stackebrandt, W. (Hrsg.): Atlas zur Geologie von Brandenburg. – 4. Aufl., S. 25 – 33, Cottbus

Obst, K. (2011): Nutzungspotenziale und Nutzungskonflikte im Ostteil des Norddeutschen Beckens – Herausforderungen für die unterirdische Raumplanung. – 77. Jahrestagung AG Norddeutsche Geologen, Tagungsband, 25 S., Cottbus

Pasternack, M. (2013): Exploration und Produktion von Erdöl und Erdgas in Deutschland 2012. – Erdöl Erdgas, Kohle, **129**, 7/8, S. 260 – 273, Hamburg

Piske, J. & H.-J. Rasch (1998): Gesetzmäßigkeiten der Erdöl-Erdgasverteilung in Lagerstätten des Ca2 am Südrand des Zechsteinbeckens (Plattformhang, Karbonatsandbarre). – Geol. Jb. **A 149**, S. 255 – 286, Hannover

Reinhold, K., Krull, P. & F. Kockel (2008): Salzstrukturen Norddeutschlands, Geologische Karte 1 : 500 000. – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Berlin, Hannover

Rentzsch, J. & H. Ludwig (1964): Bericht zur komplexen Lagerstättenprognose DDR, Teilthema Kupferschieferprognose DDR, Teil I: Südbrandenburg. – Bericht ZGI Berlin, 116 S., Berlin (unveröff.)

Rentzsch, J., Schirmer, B., Röllig, G. & G. Tischendorf (1976): On the metal source on non-ferrous mineralization in the Zechstein basement (kupferschiefer type). – In: J. Fedak (ed.): The current metallogenetic problems of central Europe. – Geol. Inst. of Poland, S. 171 – 188, Warschau

Rockel, W. & W. Ziegenhardt (1979): Strukturelle Kriterien der Lagunenbildung im tiefen Zechstein im Raum südlich Berlin. – Z. geol. Wiss. **7**, 7, S. 847 – 860, Berlin

Schretzenmayr, S. (1998): Erdöl-Erdgas-Exploration in Brandenburg – Historie, Ergebnisse, Kenntnisgewinn. – Brandenburg. geowiss. Beitr. **5**, 2, S. 9 – 18, Kleinmachnow

Simon, A. (2014): Brandenburg 3D – Entwicklung eines flächendeckenden Untergrundmodells für das Land Brandenburg. – Abschlussbericht LBGR, 8 S., Cottbus (unveröff.)