

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

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

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

MICHAEL GÖTHEL

### 1 Einleitung

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

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

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

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

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

### 2 Lithostratigraphische Gliederung des Zechstein

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

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

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

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

## 2.2 Lithostratigraphische Einheiten und Lithofazies nach internationaler Richtlinie

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

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

Folgende lithostratigraphische Einheiten können zusätzlich genutzt werden:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

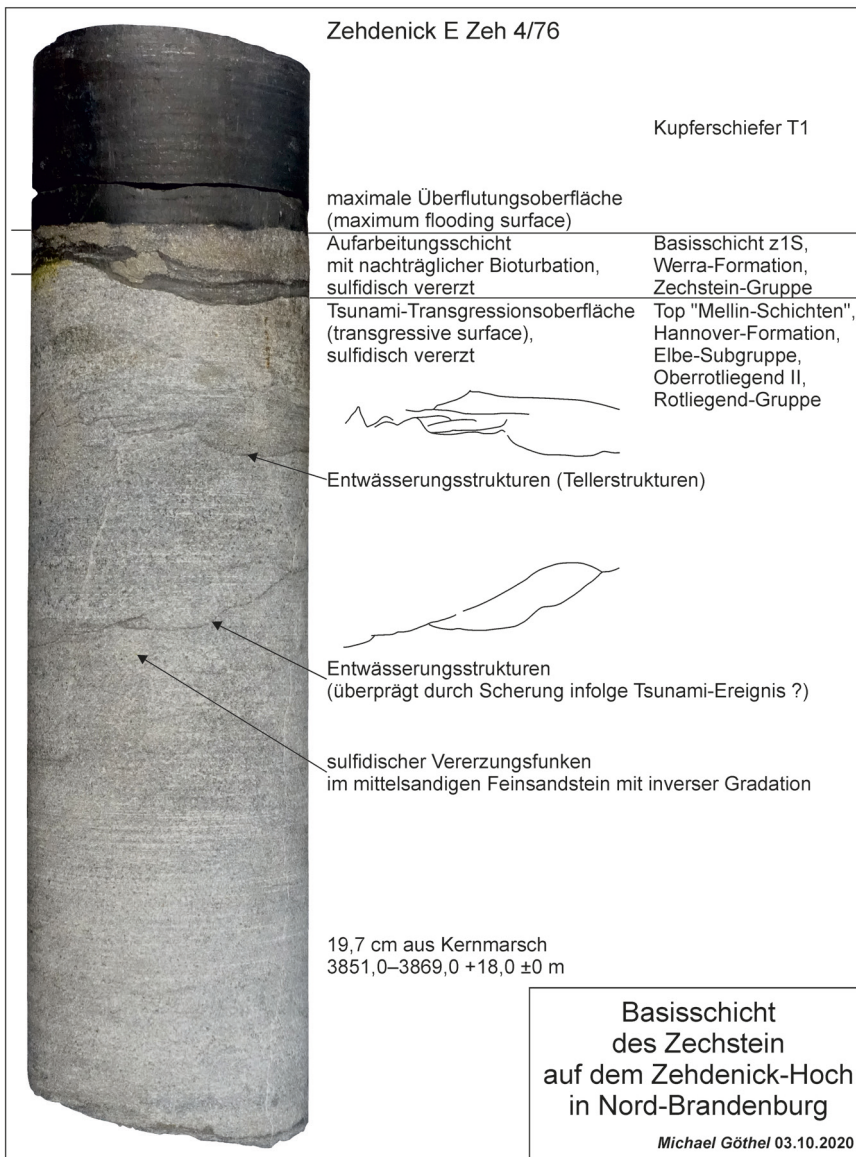


Abb. 1:  
Rotliegend/Zechstein-Grenze mit Aufarbeitungsschicht und nachträglicher Bioturbation an der Basis des Kupferschiefers T1 und der Zechstein-Gruppe

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Im Werra-Fulda-Randbecken wird der Obere Werra-Anhydrit A1r (A1 $\beta$ ) zuoberst lithofaziell vom „Oberen Werradolomit Ca1d“ vertreten. Lithostratigraphisch ist er jedoch bereits dem Staßfurt-Karbonat Ca2 zuzuordnen und repräsentiert den TST des Zyklus Pz3. Ebenso in Kombination mit den Steinsalz-Teiltrögen wird der lithologische Wechsel vom Werra-Steinsalz Na1 zum Oberen Werra-Anhydrit A1r sowie zum folgenden Staßfurt-Karbonat durch die reflexionsseismischen Horizonte Z2 und Z2' wiedergegeben.

### 2.3.2 Staßfurt-Formation

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### 2.3.3 Leine-Formation

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

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

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

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



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

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

### 2.3.4 Aller-Formation

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

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

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

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

### 2.3.4 Ohre- und Friesland-Formation

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### 3 Chronostratigraphische Zuordnung der Zechstein-Gruppe

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

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

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

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

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

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

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

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

### Zusammenfassung

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

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

### Summary

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

### Danksagung

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

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

## Literatur

- ARENILLAS, I., ARZ, J. A., GRAJALES-NISHIMURA, J. M., MELÉNDEZ, A. & R. ROJAS-CONSUEGRA (2016): The Chicxulub impact is synchronous with the planctonic foraminifera mass extinction at the Cretaceous/Paleogene boundary: new evidence from the Moncada section, Cuba. – *Geological Acta* **14**, 1, S. 35–51, 7 Abb., 1 Tab.
- BACHMANN, G. H. & H. W. KOZUR (2004): The Germanic Triassic: correlations with the international chronostratigraphic scale, numerical ages and Milankovitch cyclicity. – *Hallesches Jahrb. Geowiss.* **B 26**, S. 17–62, 13 Abb.
- BACHMANN, G. H., HAUSCHKE, N. & H. W. KOZUR (2009): Buntsandstein Cyclicity and Conchostracan Biostratigraphy of the Halle (Saale) Area, Central Germany. – 6th International Field Workshop on the Triassic of Germany, September 12–13, 2009. – Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Geowissenschaften, 30 S., 18 Abb.
- BECKER, A. (2005): Sequenzstratigraphie und Fazies des Unteren und Mittleren Buntsandsteins im östlichen Teil des Germanischen Beckens (Deutschland, Polen). – *Hallesches Jahrb. Geowiss. Reihe B, Beiheft* **21**, 117 S., 38 Abb., 9 Tab., 8 Taf., 4 Anhänge, 7 Anl.
- BEER, H., MEYER, W. & E. MOLDENHAUER (1993): Geophysikalisch-geologischer Bau und Beziehungen zur Such- und Erkundungsmethodik – dargestellt am Beispiel der Plattformlagune Wellmitz. – *Z. geol. Wiss.* **21**, 3/4, S. 261–272, 9 Abb.
- BGBI. I S. 1074 (2017): Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz – StandAG) vom 5. Mai 2017. – 18 S., 12 Anl.
- BORNEMANN, O., BEHLAU, J., FISCHBECK, R., HAMMER, J., JARITZ, W., KELLER, S., MINGERZAHN, G. & M. SCHRAMM (2008): Description of the Gorleben Site Part 3: Results of the geological surface and underground exploration of the salt formation. – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 223 S., 50 Abb., 5 Tab., 7 Anl.
- EISENTRAUT, O. (1939): Der niederschlesische Zechstein und seine Kupferlagerstätte. – *Archiv Lagerstättenforschung* **71**, 116 S., 5 Abb., 2 Taf.
- ELICKI, O. & C. BREITKREUZ (2016): Die Entwicklung des Systems Erde. – 296 S., Lehrbuch Springer Spektrum
- ELICKI, O. & M. GÖTHEL (2019): Neue Ergebnisse mikropaläontologischer Untersuchungen (Foraminiferen) aus Kernstrecken der mittleren Kreide (Alb bis Coniac) Südost- und Nord-Brandenburgs: Biostratigraphie, fazielle und regionalgeologische Interpretation. – *Brandenburg. geowiss. Beitr.* **26**, 1/2, S. 61–105, 5 Abb., 6 Tab., 10 Taf., 3 Einbl.
- FRISCH, U. & F. KOCKEL (2004): Der Bremen-Knoten im Strukturnetz Nordwest-Deutschlands – Stratigraphie, Paläogeographie, Strukturgeologie. – *Berichte, Fachbereich Geowissenschaften* **223**, Universität Bremen, XVI S. + 379 S., 155 Abb., 58 Tab.
- GÖTHEL, M. (2012): Aktuelle Informationen zur stratigraphischen Zuordnung eustatisch und tektonisch kontrollierter Ablagerungssequenzen des Zechsteins im Rahmen der plattentektonischen und paläogeographischen Situation zwischen Gondwana und dem geotektonischen Puzzle Europas. – *Brandenburg. geowiss. Beitr.* **19**, 1, S. 29–42, 4 Abb., 2 Taf., Titelbild
- GÖTHEL, M. (2016): Lithologische Interpretation und stratigraphisches Niveau der reflexionsseismischen Horizonte im Untergrund Brandenburgs einschließlich Berlins. – *Brandenburg. geowiss. Beitr.* **23**, 1/2, S. 85–90, 3 Abb., 1 Tab. 1 Einbl.
- GÖTHEL, M. (2018): Stratigraphie von Brandenburg 2018. – *Brandenburg. geowiss. Beitr.* **25**, 1/2, S. 47–50, 1 Einbl.
- GÖTHEL, M. (2019): Vulkanisch geprägtes Unterrotliegend der Lausitz – Resultat postvariszischer Strike-Slip-Bewegungen an den Mitteldeutschen Abbrüchen. – *Brandenburg. geowiss. Beitr.* **26**, 1/2, S. 107–116, 2 Abb., 1 Einbl.
- GOTTESMANN, W. (1969): Paläogeographie und Kalisalzführung des Zechsteins in Südbrandenburg. – *Jb. Geol.* **2** (für 1966), S. 243–269, 8 Abb., 4 Tab.

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

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

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

**Anschrift des Autors:**

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

Liegendes: Oberrotliegend (bis zur Endteufe 1410 m)

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

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

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

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

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

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



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

Kernproben aus Bohrungen:

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

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

Drill core sample identification:

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

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

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

