

Brandenburg. geowiss. Beitr.	Cottbus	19 (2012), 1	S. 29 – 42	4 Abb., 2 Taf., 58 Zit.
------------------------------	---------	--------------	------------	-------------------------

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

Present information on the stratigraphic correlation of the depositional sequences of the Zechstein group, and eustatic and tectonical controlled systems tracts considering of plate tectonic framework and paleogeographic relations between Gondwana and European terranes

MICHAEL GÖTHEL

Einleitung

Gegenwärtig rücken infolge Rohstoffverknappung und -preisexplosion die Ablagerungen des Zechsteins auch im Land Brandenburg verstärkt in den Fokus des wirtschaftlichen Interesses. In der basalen Werra-Formation und des unmittelbar unterlagernden Oberrotliegenden begünstigen sie als geochemische Barriere die bruchtektonisch-hydrothermal kontrollierten polymetallischen Vererzungen vom Typ Kupferschiefer einschließlich liegendes Sanderz und hangendes Karbonaterz (vgl. KOPP, HERRMANN & HÖDING 2008). In porösen, partiell verkarsteten Karbonatsandbarren- und kavernösen Karst-Anteilen des Staßfurtkarbonats befinden sich tektonisch und diagenetisch kontrollierte Anreicherungen von Kohlenwasserstoffen. Die in Salzkissen akkumulierten Steinsalze der Staßfurt- und Leine-Formation können bei geeigneter Barrierewirkung ihres Deckgebirges für die Kavernenspeicherung von Erdgas und zur Endlagerung von Schadstoffen genutzt werden. Nicht zu vergessen sind die Kalisalzflöze selbst sowie in Salzkristallgittern möglich eingebaute seltene Elemente. Dabei ist die detaillierte Kenntnis der Ablagerungen des Zechsteins und der Rohstoffgenese zur Vorhersage wirtschaftlicher Lagerstätten und für den Bergbau Voraussetzung.

Mit weiter entwickelten und neuen Untersuchungsmethoden wurden in jüngster Vergangenheit (HERMANN 2010) und werden gegenwärtig im Bohrkern- und Probenarchiv des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR) an ausgewählten Kernstrecken von Industrie und Forschung Ergebnisse gewonnen, die zum Kenntnisfortschritt über die Ablagerung des Zechsteins beitragen. Dieser Artikel resultiert aus einem Vortrag des Autors, der während eines gemeinsamen Workshops der Universität Potsdam, des Bureau of Economic Geology Mudrock Systems Research Laboratory (MSRL) und dem LBGR am 31.05.2012 gehalten wurde.

Geotektonische und paläogeographische Situation während der Ablagerung des Zechsteins

Das Germanische Zechstein-Becken entwickelte sich aus der

Variszischen Vorsenke auf den kontinentalen Krusteanteilen Ost-Avalonias (Rhenoherynikum), peribaltischer Terranes (Rügen-Pomorze-Kaledoniden, Łysogóry, Małopolska und Brunovistulikum) und Baltikas (KALVODA et al. 2008, MUNTEANU & TATU 2003, PHARAO & TESZ PROJECT CORE GROUP 2000, STAMPFLI & BOREL 2002, VAIDA, SEGHEDI & VERNIERS 2005, SZANIAWSKI 2008, VALVERDE-VAQUERO et al. 2000; Abb. 1). An seinem Südrand liegt es über variszischen Extramontanen Becken, die in die Variszische Vorsenke münden (GAITZSCH et al. 1998). Dort kommen südlich der Mitteldeutschen Kristallinzone Terranes Perigondwanas, hauptsächlich Saxothuringikum, als Krustenanteile hinzu. Die Transgression des epikontinentalen Zechstein-Meeress (Abb. 2) erfolgte als eustatisches Ereignis aus der heutigen Arktik über den Barentsmeer-Schelf und das Arktische Riftsystem (Proto-Atlantik) in das Norwegisch-Dänische Becken (Northern Permian basin) und über den Zentralgraben in das Norddeutsch-Polnische Becken (Southern Permian basin). Über diesen Weg erfolgten bereits Ingressionen zur Zeit der Ablagerung des Oberrotliegenden II und zu Beginn der Ablagerung der Rambow- bzw. Dethlingen-Formation in einen nach den Altmark-III-Bewegungen angelegten Salzsee (LEGLER & SCHNEIDER 2008). Marine Bilvalven, z. B. *Liebea reichei*, geborgen aus der zweiten Havarieablenkung der Bohrung Rhinow E Rhi 5h2/71 in West-Brandenburg, gelangten so mit der Niendorf-Transgression schon vor der Ablagerung des Zechsteins in die Hannover-Formation des Norddeutsch-Polnischen Beckens. Während des Meeresspiegelhochstandes 2. Ordnung (STROHMENGER, ROCKENBAUCH & WALDMANN 1998) gab es während der Ablagerung des Kupferschiefers und untersten Zechsteinkalks (Dachflöz und *Productus*-Bank; Abb. 3) in der Werra-Formation höchstwahrscheinlich eine Verbindung über die Ostkarpathen (Carpații Orientali) zum Paläotethys-Schelf (SCHNEIDER et al. 2010) der Skythischen Plattform, die wie im Oberen Buntsandstein einen Faunenaustausch ermöglichte (Abb. 2). Aufgrund der Lage des Germanischen Zechstein-Beckens zwischen dem 10. und 20. Breitengrad nördlich des Äquators waren aride Klimaverhältnisse (ROSCHER & SCHNEIDER 2006) bestimmend, die immer wieder die Eindampfung des mehrmals transgredierte Meeres verursachten.

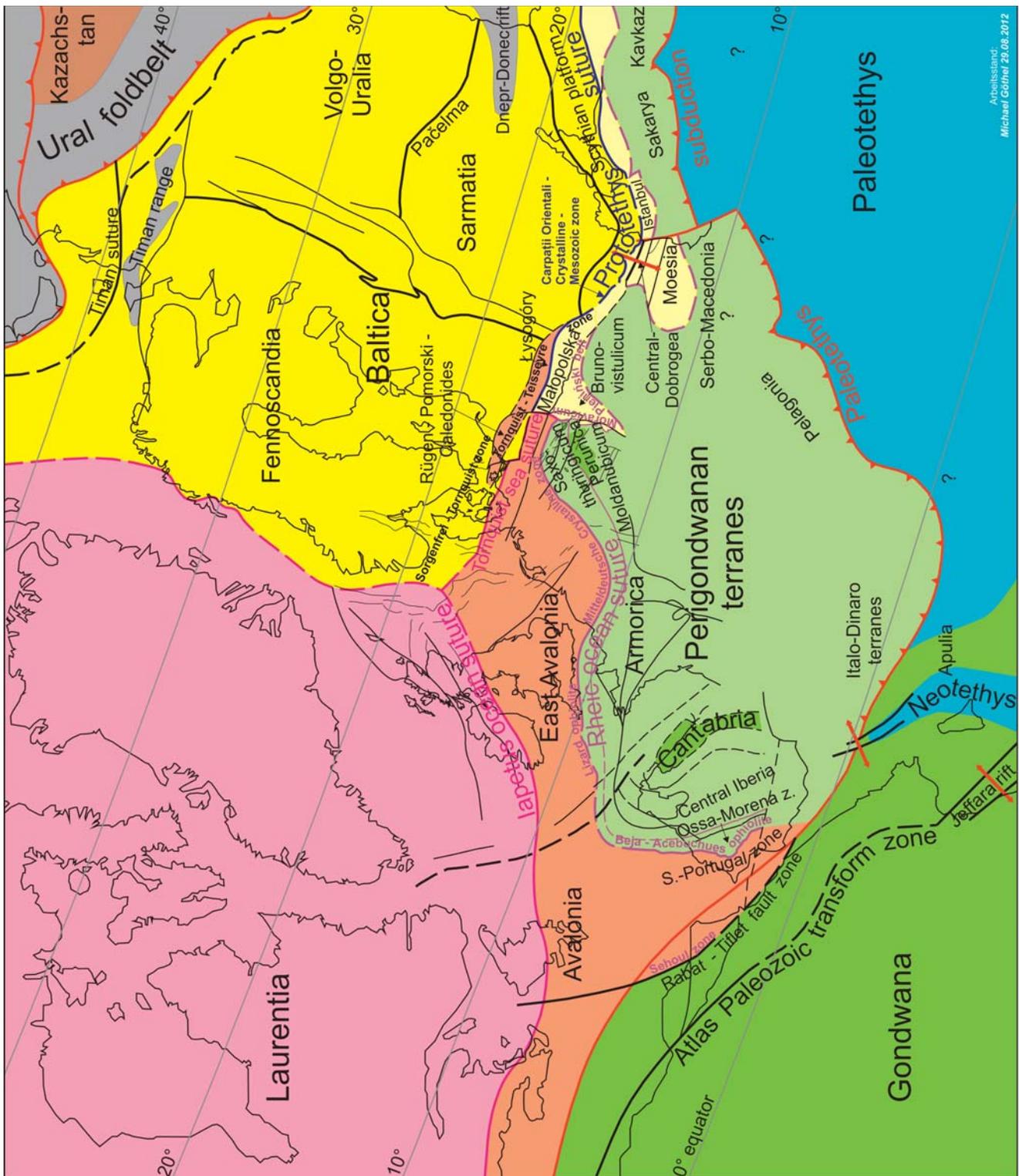


Abb. 1: Geotektonische Situation Europas im Ober-Perm:

Position der kontinentalen Krustenplatten, paläozoisch akkretionierter Terranes und Interpretation des Verlaufs der sie begrenzenden Suturzonen sowie Lage der sich schließenden Paläotethys und der sich öffnenden Neotethys

Fig. 1: Upper Permian geotectonic Situation of Europe:

Position of the different continental crustal plates, Paleozoic accretionary terranes, and interpretation of their collisional suture direction as well as area of the closing Paleotethys and opening Neotethys (according to ADAMIA et al. 2011, GEE et al. 2008, HOEPFFNER, SOULAIMANI & PIQUE 2005, KALVODA et al. 2008, MUNTEANU & TATU 2003, PHARAO & TESZ PROJECT CORE GROUP 2000, RIBEIRO et al. 1996, RUBAN, AL-HUSSEINI & IWASAKI 2007, STAMPLI & BOREL 2002, SZANIAWSKI 2008, VAIDA, SEGHEDI & VERNIERS 2005, VALVERDE-VAQUERO et al. 2000, ZIEGLER 1990)

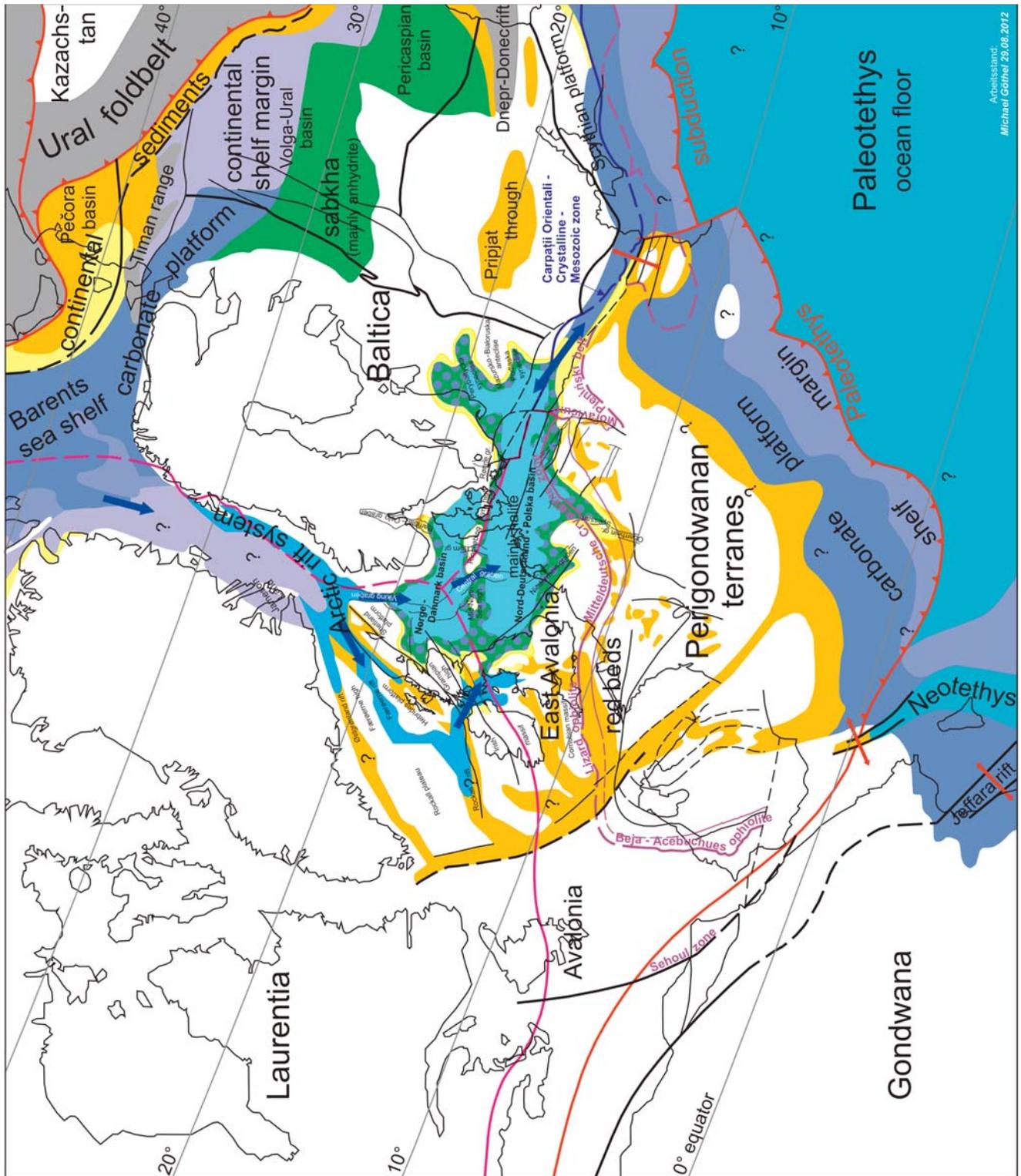
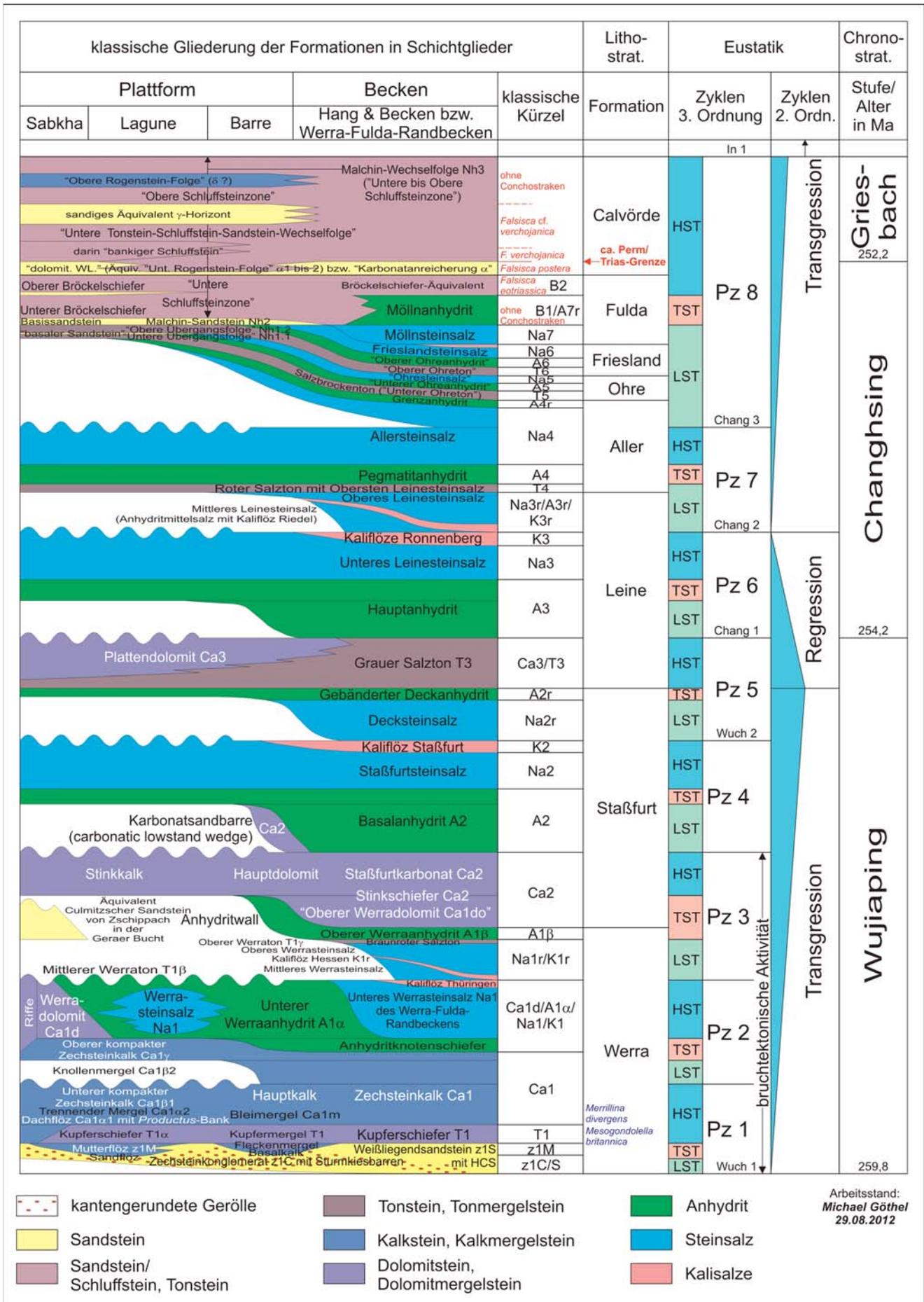


Abb. 2: Paläogeographische Situation Europas im Ober-Perm:
Position des Germanischen Zechstein-Beckens, des Arktischen Rift-Systems und Schelfs sowie weiterer Ablagerungsgebiete mit ihren hauptsächlich Ablagerungsmilieus sowie geotektonisch akkretionierten und aktiven Zonen

Fig. 2: Upper Permian paleogeographic Situation of Europe:
Position of the Germanic Zechstein basin, the Arctic rift system and continental shelves, and further depositional areas with their mainly environments as well as geotectonical accretionary and active zones (according to ADAMIA et al. 2011, GEE et al. 2008, HOEPFFNER, SOULAIMANI & PIQUE 2005, KALVODA et al. 2008, MUNTEANU & TATU 2003, PHARAO & TESZ PROJECT CORE GROUP 2000, RIBEIRO et al. 1996, RUBAN, AL-HUSSEINI & IWASAKI 2007, STAMPFLI & BOREL 2002, SZANIAWSKI 2008, VAIDA, SEGHEDI & VERNIERS 2005, VALVERDE-VAQUERO et al. 2000, ZIEGLER 1990)



Stratigraphischer Kenntnisstand und Abgrenzung des Zechsteins zum Rotliegenden und zum Buntsandstein

Die lithostratigraphische Gliederung der Ablagerungen des Zechsteins (Abb. 3) geht vorrangig auf Eindampfungszyklen zurück (RICHTER-BERNBURG 1955a, 1955b, ZENTRALES GEOLOGISCHES INSTITUT 1980, KIERSNOWSKI et al. 1995). Zu den Zyklen RICHTER-BERNBURGS (1955b), die der Werra-, Staßfurt-, Leine- und Aller-Formation entsprechen, kamen Ohre-Zyklus (REICHENBACH 1963) bzw. Ohre-Formation sowie Friesland- und Fulda-Formation hinzu (SUBKOMMISSION PERM-TRIAS 2011).

Die Basis des Zechsteins wurde bereits 1815 von FREIESLEBEN begründet. Er schreibt dazu: „Beynahe alle bisherige Schriftsteller übergehen das Weißliegende entweder ganz, oder geben unvollständige Bestimmungen davon, oder sie betrachten es als oberste Schicht des Roth Liegenden.“ Genau das vollzog sich auch mit dem Beschluss Nr. 53 der Subkommission für Perm-Trias-Stratigraphie in der Deutschen Stratigraphischen Kommission (DSK): „Die Zechstein-Gruppe setzt mit der Basis des Unteren Werra-Tons (Kupferschiefer und seine Äquivalente) ein“ (SUBKOMMISSION PERM-TRIAS 2011; vgl. Abb. 3). Eine der Begründungen für diese Festlegung war, dass man nicht genau wisse, ob die Schichten im Liegenden des Kupferschiefers marin oder nicht-marin sind. Damit wird jedoch ignoriert, dass unter dem Kupferschiefer Schichtglieder mit flachmarinem Gefügeinventar (Taf. 1, Fig. c, d) und marinen Fossilien (HAUBOLD & SCHAUMBERG 1985) – der „*Productus cancrini*“-Fauna mit *Cancrinella germanica* (HROUDA & BRANDT 2005; Taf. 1, Fig. a) – lagern. Während FREIESLEBEN (1815) und MEINKE (1911) die Zechstein-Basissedimente unter dem Kupferschiefer als „Weißliegendes“ zusammenfassen, kann man in erster Linie aus Sturmkiebsbarren aufgebaute konglomeratische Sandsteine als Zechsteinkonglomerat (Taf. 1, Fig. d) von Weißliegendensandsteinen (Taf. 1, Fig. c) mit Beulenschichtung (Hummocky Cross-Stratification, HCS) unterscheiden (SCHNEIDER et al. 2010). Ob die Zechstein-Basis als Zechsteinkonglomerat oder Weißliegendensandstein ausgebildet ist, hängt hauptsächlich vom Ausgangsmaterial der aufgearbeiteten Unterlage ab und kann deshalb lateral auf engstem Raum, wie um Gera und im Gebiet des Erkundungsobjekts Kupfer Spremberg wechseln (Taf. 1, Fig. a, b, c, e, f). Das Zechsteinkonglomerat kann außerdem nach oben und lateral in Kalksandsteine und sandige Kalksteine mit marinen Bivalven übergehen, die um Gera in Thüringen bergmännisch als Mutterflöz bezeichnet werden. In Niederschlesien, in der Jerzmanice-Mulde (Hermsdorfer Mulde) als Südost-Ausbiss

der Nordsudetischen Kreidemulde zwischen Góry Kaczawskie (Bober-Katzbach-Gebirge) und dem Vorsudetischen Block des Saxothuringikums folgt über dem Zechsteinkonglomerat der 2,4 bis 5,0 m mächtige Basalkalk. Darüber kann weiterhin der 1,0 bis 5,5 m mächtige „Fleckenmergel“ vom überlagernden, 2,0 bis 4,3 m mächtigen „Kupfermergel“ unterschieden werden (ZIMMERMANN 1936, HAUBOLD & SCHAUMBERG 1985). Im Bereich der Vorsudetischen Monoklinale – vom Vorsudetischen Block in das Norddeutsch-Polnische Becken – lagert zwischen dem Weißliegendensandstein und dem Kupferschiefer der als „Grenzdolomit“ bezeichnete Basalkalk mit Fossilien, die denen des Mutterflözes gleichen (HAUBOLD & SCHAUMBERG 1985). Letztendlich ist dem Bergmann und eigentlich jedem logisch Denkenden somit nicht vermittelbar, das Zechsteinkonglomerat gehöre nicht mehr zum Zechstein, sondern zum Rotliegenden.

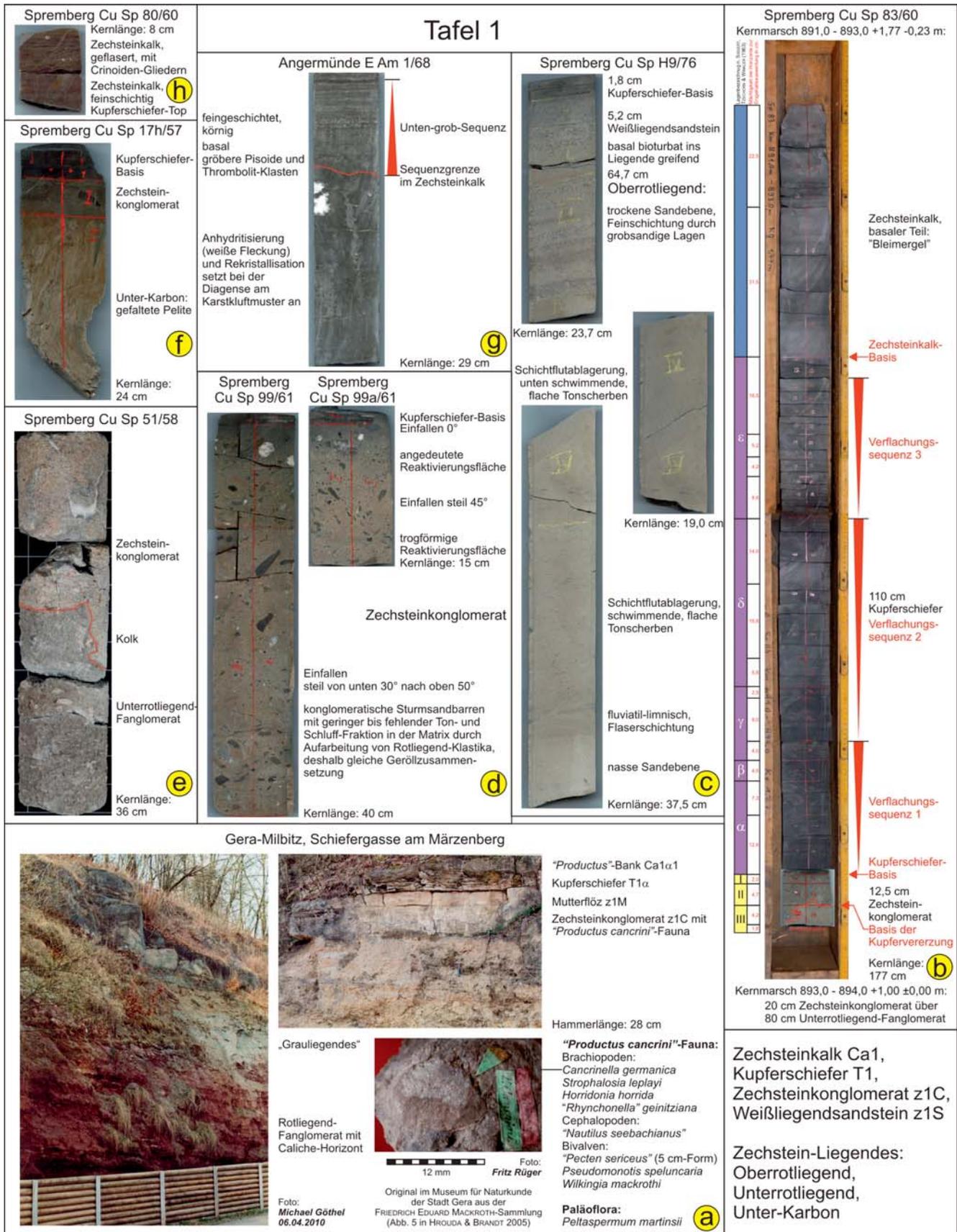
Durch die Korrelation der ehemaligen „Unteren und Oberen Übergangsfolge“ bzw. des Unteren Bröckelschiefers (Abb. 3) mit zwei weiteren Evaporit-Zyklen aus dem Beckeninnern des Norddeutsch-Polnischen Beckens im Gebiet Schleswig-Holsteins und der Nordsee kamen zur ehemaligen „Werra-“, „Staßfurt-“, „Leine-“, „Aller-“ und „Ohre-Folge“ noch die „Friesland-“ und „Mölln-Folge“ mit dem Frieslandton T6, (ehemaliger „Oberer Ohreton“), Frieslandanhydrit A6 (ehemaliger „Oberer Ohreanhydrit“), Frieslandsteinsalz Na6, Möllnsteinsalz Na7 und dem Möllnanhydrit A7r als Äquivalent des Unteren Bröckelschiefers B1 hinzu. Mit der Ausgliederung der „Übergangsschichten“ oder „Unteren und Oberen Übergangsfolge“ und des Unteren und Oberen Bröckelschiefers aus der ehemaligen „Nordhausen-Folge“ (ZENTRALES GEOLOGISCHES INSTITUT 1974) bzw. aus der „Malchin-Folge“ (SCHÜLER 1976) Mecklenburg-Vorpommerns wurden die Basis des Buntsandsteins sowie die Basis der neuen Calvörde-„Folge“ (Calvörde-Formation, SUBKOMMISSION PERM-TRIAS 2011; Abb. 3) mit der Basis der Rogensteinbank $\alpha 1$ bzw. seiner sandigen Äquivalente definiert (SZURLIES et al. 2003).

Die lithostratigraphische Korrelation des Perm/Trias-Grenzbereiches von Süd- und Nordrand der Norddeutsch-Polnischen Senke erfolgt mit der Parallelisierung des Malchin-Sandsteins (Basissandsteins) Mecklenburg-Vorpommerns mit dem Basissandstein der Fulda-Formation (Abb. 3). Die ca. 40 m darüber lagernde Kalkanreicherung in der Malchin-Wechselfolge wird mit der Oolithbank α (Rogensteinbank $\alpha 1$, Abb. 3) korreliert (SCHULZE 1969, SCHÜLER 1976), die jetzt der Basis der Calvörde-Formation und des Buntsandsteins entspricht (u. a. BACHMANN & KOZUR 2004).

Abb. 3: Lithostratigraphisches Schema zum Zechstein zur Korrelation eustatisch und tektonisch kontrollierter Ablagerungssequenzen

LST – Lowstand Systems Tract, TST – Transgressive Systems Tract, HST – Highstand Systems Tract

Fig. 3: Lithostratigraphical framework of the Zechstein group with correlation for eustatic and tectonical controlled depositional sequences (according to BACHMANN & KOZUR 2004, HAQ & SCHUTTER 2008, KAISER, NÖTH & RICKEN 2003, OGG, OGG & GRADSTEIN 2008, SCHÜLER 1976, SEIFERT 1972, SUBKOMMISSION PERM-TRIAS 2011, STROHMENGER, ROCKENBAUCH & WALDMANN 1998, SZURLIES et al. 2003, ZENTRALES GEOLOGISCHES INSTITUT 1974, 1980)
LST – Lowstand Systems Tract, TST – Transgressive Systems Tract, HST – Highstand Systems Tract



Feinstratigraphische Auflösung und sequenzstratigraphische Gliederung der Ablagerungen des Zechsteins

Die Schichtbezeichnungen der Zechstein-Ablagerungen (Abb. 3) folgen bewusst der klassischen Gliederung von RICHTER-BERNBURG (1955b). Diese Gliederung ist fast ausschließlich in den Berichten der Erdöl-/Erdgas- und Kupfer-Erkundung sowie in den Berichten der Kartierungsbohrungen der staatlichen geologischen Erkundung der DDR wiederzufinden. Auf dieser Gliederung beruht des Weiteren eine funktionierende Bohrungsdatei der Erdöl-/Erdgas-Erkundungsindustrie mit tausenden von Schichtszätzen, die die Grundlage der tiefegeologischen Untersuchungen und aktuellen Rohstoff- und Bergbauauswertungen nicht nur des LBGR Brandenburg bildet. Eine Korrelation mit dem aktuellen und sich immer wieder ändernden stratigraphischen Kenntnisstand sowie Schicht-Umbenennungen nach den aktuellen, praxisfernen Vorschlägen der DSK würde einen derartigen Arbeitsaufwand erfordern, dessen Kosten personalpolitisch nicht vermittelbar wären. Die klassische Gliederung wurde mit den historischen und bergmännischen Schichtbezeichnungen der Kalisalz- und Kupferschiefer-Lagerstätten aus der südlichen Randentwicklung des Germanischen Zechstein-Beckens ergänzt (Abb. 3, Taf. 1).

Die Grundidee der Gliederung und Zuordnung der einzelnen Schichtglieder im Germanischen Zechstein-Becken zu Zyklen eustatischer Meeresspiegelschwankungen 3. Ordnung besteht darin, die Verkarstungserscheinungen (z. B. im Zechsteinkalk; Taf. 1, Fig. g) mit den Sedimentationsunterbrechungen in den Karbonat-Plattformen bzw. Sabkhas an den Beckenrändern bei Meeresspiegelniedrigständen zu korrelieren (STROHMENGER, ROCKENBAUCH & WALDMANN 1998). Infolge der Verkarstung während des Lowstand Systems Tracts (LST) können die Karstschlotten am Top des Werraanhydrits (Abb. 3) mit Dolomitstein des überlagernden Staßfurtkarbonats verfüllt sein (siehe Einbandfoto des Heftes). Die letzte Phase der Evaporitbildung entspricht den Kalisalzabscheidungen im Zentrum der Norddeutsch-Polnischen Senke, in den Randbecken (z. B. Werra-Fulda-Randbecken am südlichen Beckenrand) und in den Synklinalen der Osteuropäischen Plattform Baltikas (Ostteil des Zechstein-Beckens; Abb. 2). Sie setzt mit dem Beginn des

Meeresspiegelfallens im oberen Highstand Systems Tract (HST; Abb. 3) ein (KAISER, NÖTH & RICKEN 2003).

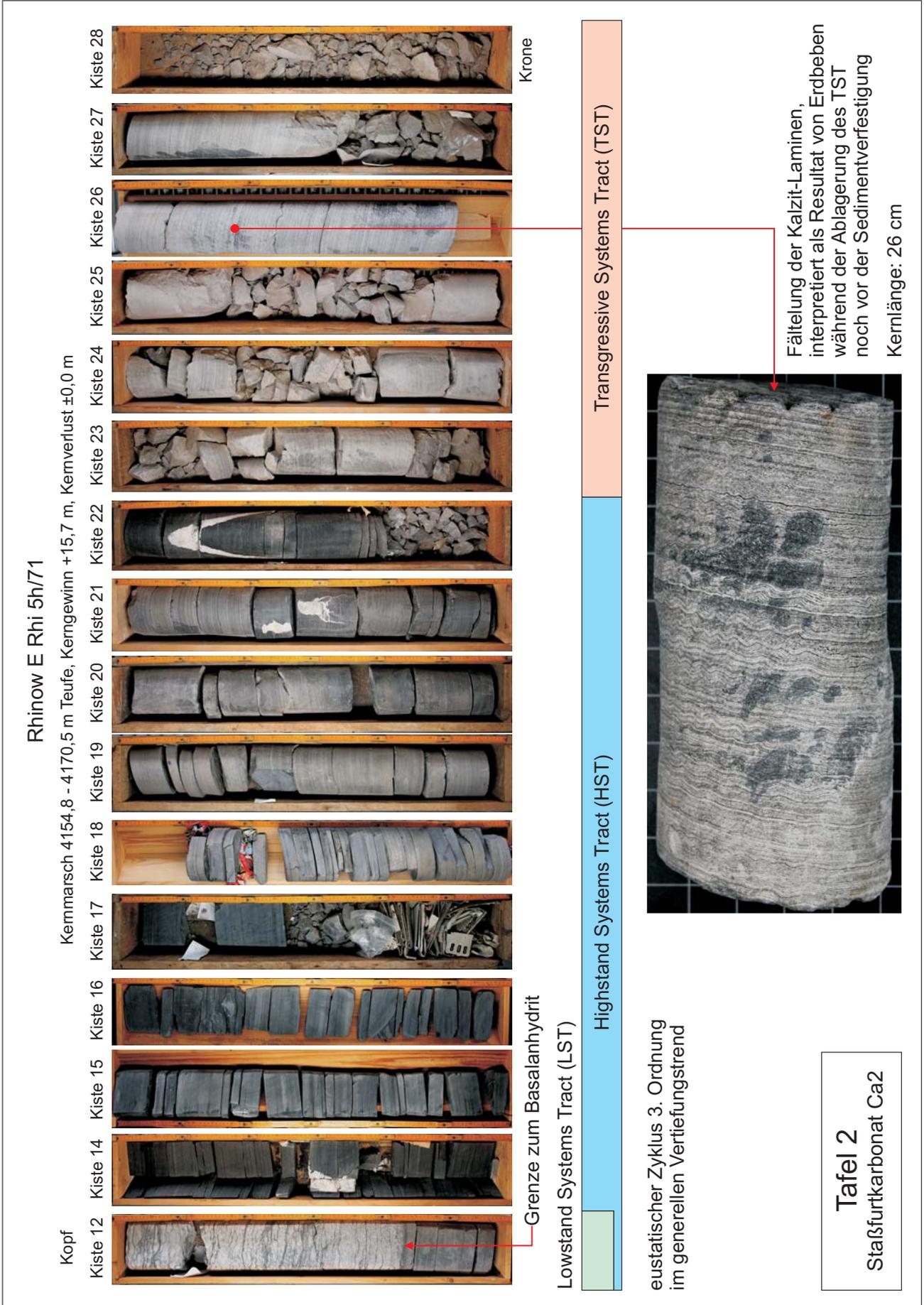
Der Kupferschiefer wird einem Meeresspiegelhochstand 2. Ordnung über einer maximalen Überflutungsoberfläche (Maximum flooding surface, mfs) zugeordnet. Davon zeugt sein Aufbau aus drei Verflachungssequenzen eustatischer Meeresspiegelschwankungen 4. Ordnung (Taf. 1, Fig. b). Eine Verflachungssequenz des Kupferschiefers beginnt reich an organischen Kohlenstoffanteilen, arm an Karbonat und schwarz oder dunkelgrau gefärbt. Sie endet heller gefärbt, reich an Karbonat und arm an organischen Kohlenstoffanteilen. Diese drei Verflachungssequenzen sind auch bei Mächtigkeitsschwankungen des Kupferschiefers am südlichen Rand des Germanischen Zechstein-Beckens zu beobachten (z. B. Bohrungen Spremberg Cu Sp 83/60: 1,1 m; Taf. 1, Fig. b; Cu Sp 117/72: 0,3 m). Diese Zyklizität nutzte bereits RENTZSCH (1965) zur Korrelation von Kupferschiefer-Lagen zwischen Werra-Gebiet, Thüringer Becken, Mansfelder Mulde, Subherzynem Becken, der Scholle von Calvörde, Colochauer Mulde und Spremberg-Weißwasser. In der darüber folgenden vierten Verflachungssequenz befindet sich die relativ scharfe lithostratigraphische Grenze zum Zechsteinkalk (vgl. SIEGERT, TZSCHORN & WINKLER, 1963). Während der dunkle Abschnitt noch zum Kupferschiefer gezählt wird, bildet der hellere Abschnitt bereits die Basis des Zechsteinkalks (Taf. 1, Fig. b, Abb. 3).

Ebenso wie um Eisleben im Mansfelder Revier fallen im basalen Teil des Zechsteinkalks tempestitische Anhäufungen von Crinoiden-Gliedern auf (Taf. 1, Fig. h). Um Eisleben wird dieser basale Teil bergmännisch als Dachflöz oder Dachklotz bezeichnet und mit der *Productus*-Bank um Gera in Thüringen korreliert (Taf. 1, Fig. a). Die Werra-Formation zeichnet sich außerdem durch das Vorkommen von Riffen (Abb. 3) und Algenbänken aus, die am Rand des Zechstein-Meeres entwickelten (u. a. KERKMANN 1969) und als Werradolomit den Unteren Werraanhydrit lateral vertreten (SEIFERT 1972).

Aus der 1. Havarieablenkung der Bohrung Rhinow E Rhi 5h/71 wurde das Staßfurtkarbonat (Abb. 3) in der laminierten Beckenfazies gekernt, dessen Karbonatanteil insgesamt von unten nach oben abnimmt und dessen Kohlenstoffanteil insgesamt von unten nach oben zunimmt (Taf. 2). Dieser

Taf. 1: Ausgewählte Ablagerungssequenzen und Merkmale aus Aufschlüssen und Bohrkernstrecken zum Zechsteinkalk Ca1, Kupferschiefer T1, Zechsteinkonglomerat z1C, Weißliegendesandstein z1S sowie Oberrotliegend, Unterrotliegend und Unter-Karbon: a – Gera-Milbitz, Schiefergasse am Märzenberg; b – Spremberg Cu Sp 83/60; c – Spremberg Cu Sp H9/76; d – Spremberg Cu Sp 99/661 (Lagenbezeichnung des Kupferschiefers nach SIEGERT, TZSCHORN & WINKLER 1963); e – Spremberg Cu Sp 51/58; f – Spremberg Cu Sp 17h/57; g – Angermünde E Am 1/68; h – Spremberg Cu Sp 80/60

Table 1: Selection of depositional sequences and features from outcrops and core samples of Zechsteinkalk Ca1, Kupferschiefer T1, Zechsteinkonglomerat z1C, Weißliegendesandstein z1S as well as Oberrotliegend, Unterrotliegend and Unter-Karbon: a – Gera-Milbitz, Schiefergasse am Märzenberg; b – Spremberg Cu Sp 83/60; c – Spremberg Cu Sp H9/76; d – Spremberg Cu Sp 99/661 (layer terms of Kupferschiefers according to SIEGERT, TZSCHORN & WINKLER 1963); e – Spremberg Cu Sp 51/58; f – Spremberg Cu Sp 17h/57; g – Angermünde E Am 1/68; h – Spremberg Cu Sp 80/60



Tafel 2: Ausgewählte Ablagerungssequenzen zum Staßfurtkarbonat aus der Bohrung Rhinow E Rhi 5h/71
 Table 2: Selection of depositional sequences of Staßfurt carbonate from bore hole Rhinow E Rhi 5h/71

Trend spiegelt die anhaltende Vertiefung 2. Ordnung wieder (Abb. 3). Auffällig ist jedoch der abrupte Farbwechsel von hell zu dunkel bzw. von reich an Karbonat zu reich an organischem Kohlenstoffanteil. Dieser Wechsel wird als maximale Überflutung 3. Ordnung interpretiert. Darüber zeigt sich ein Hellerwerden der Ablagerungen, was der Zunahme des Karbonatanteils infolge der Verflachung im oberen Highstand Systems Tract (HST) zugeschrieben wird. Die Sequenzgrenze zum nächsten Zyklus eustatischer Meeresspiegelschwankungen 3. Ordnung innerhalb der Staßfurt-Formation bildet dort die transgressive Basis des Basalanhydrits (Abb. 3, Taf. 2).

Einen weiteren Gliederungsbaustein bildet die Zuordnung des Ablagerungsmilieus des Grauen Salztons an der Basis der Leine-Formation zu einem Meeresspiegelhochstand 2. Ordnung (Abb. 3).

Stratigraphische Korrelation der Ablagerungen des Zechsteins

Die chronostratigraphische Zuordnung der Zechstein-Gruppe wird noch immer diskutiert (u. a. BACHMANN & KOZUR 2004, KOZUR 1994, 1995, 2007, LEGLER & SCHNEIDER 2008, LANGEREIS et al. 2010, MENNING et al. 2006). Einen wichtigen Baustein stellt dazu die chronostratigraphische Lage der Illawarra-Umpolung dar. Sie wird derzeit in die Word-Stufe des Mittel-Perms korreliert (LANGEREIS et al. 2010, OGG, OGG & GRADSTEIN 2008). Ihr Nachweis gelang in der basalen Parchim-Formation des Oberrotliegend II der Bohrung Mirow E MirNs 1a/76 (GEBHARDT et al. 1995, MENNING 1995). Einen weiteren Baustein würde die exakte Korrelation der spärlichen Conodonten-Vorkommen im Zechstein mit anderen Vorkommen der nördlichen Hemisphäre im Perm darstellen. *Mesogondolella britanica* wurde in den Äquivalenten des Kupferschiefers im Bereich der Nordsee und Englands nachgewiesen (LEGLER & SCHNEIDER 2008). *Merrillina divergens* kommt außerdem im basalen Zechsteinkalk der Werra-Formation vor (Abb. 3). Die Korrelation des letzten Vorkommens (Last Occurrence Date, LOD) dieser Form mit dem Unteren Wujiaping (Abb. 3) wird derzeit diskutiert (KOZUR 2007, MENNING et al. 2006).

Die Zuordnung des Kupferschiefers zu einer maximalen Überflutung 3. Ordnung (Abb. 3; STROHMENGER, ROCKENBAUCH & WALDMANN 1998) wird mit dem Beginn des Transgressionstrends 2. Ordnung über der Sequenzgrenze Wuch 1 (OGG, OGG & GRADSTEIN 2008, HAQ & SCHUTTER 2008) in Zusammenhang gesehen. Danach würde die transgressive Basis der Zechstein-Gruppe unter dem Kupferschiefer der Basis der Wujiaping-Stufe bzw. der Basis des Ober-Perms entsprechen.

Die lithostratigraphische Abgrenzung der Zechstein- zur Buntsandstein-Gruppe wird mit der Basis der Calvörde-Formation, dem Rogenstein $\alpha 1$ vorgenommen (SZURLIES et al. 2003) und biostratigraphisch mit der Basis der Conchostraken-Zone *Falsisca postera* korreliert (BACHMANN & KOZUR 2004; Abb. 3). Die Basis der Trias wurde biostratigraphisch mit der Basis der Conodonten-Zone *Hindeodus parvus* festgelegt (HONGFU et al. 2001). Diese Basis wiederum wird mit der Basis der Conchostraken-Zone *Falsisca verchojanica* korreliert, die auf die *Falsisca postera*-Zone folgt (KOZUR 2003, BACHMANN & KOZUR 2004). Danach befindet sich die Perm-Trias-Grenze bereits innerhalb der Calvörde-Formation des Unteren Buntsandsteins und nicht an deren Untergrenze.

Bruchtektonische Beeinflussung der Ablagerungen des Zechsteins

Die bruchtektonischen Aktivitäten im Germanischen Zechstein-Becken kontrollierten die Ablagerungssequenzen 3. Ordnung von Werra- und Staßfurt-Formation (Abb. 3). Die NW–SE und subparallel zwischen West-Afrika (Gondwana) und der Osteuropäischen Plattform (Baltika) verlaufenden und fiederartig angeordneten Mitteldeutschen Hauptabbrüche (Abb. 1) schufen ein Paläorelief, über welches das Zechstein-Meer transgredierte. Infolge dextraler Seitenverschiebung wurde beispielsweise zwischen Lausitzer Hauptabbruch und Vetschauer Störung die Struktur Mulkwitz als Akkomodationszone herausgehoben, deren NW-Begrenzung durch die SSW–NNE streichende Hoyerswerdaer Querstörung erfolgt (GÖTHEL & TRÖGER 2002) und dort die höchste Heraushebung zeigt. Am NW-Rand der Struktur Mulkwitz lagert der Zechstein über variszisch gefaltetem Unter-Karbon (Taf. 1, Fig. f) und zeigt damit ihre höchste Heraushebung am NW-Rand an, während der Zechstein im Gebiet der Struktur ansonsten über Unterrotliegend (Taf. 1, Fig. e) und Oberrotliegend lagert (Taf. 1, Fig. c). Am SE-Ende der Struktur Mulkwitz wurde in der Bohrung Spremberg Cu Sp 83/60 unter dem 32,5 m mächtigen Zechsteinkonglomerat (oberste 12,5 cm siehe Tafel 1, Fig. b) 30,7 m, hauptsächlich violettbraun gefärbtes Rotliegend erbohrt, welches in drei Folgen gliederbar ist. In der zuunterst befindlichen Fanglomerat-Folge erreichte die Bohrung nach 2,55 m ihre Endteufe. In ihr fallen violettgraue, gewalzte, bimsartige Lavafetzen und Lapilli sowie eine Häufung hellgraugrüner Bleichungsflecken auf. Darüber lagert eine 5,65 m mächtige Schluffstein-Folge, in deren unterstem Meter gröberklastische, tuffitische Lagen mit Häufungen von Bleichungsflecken zur liegenden Fanglomerat-Folge überleiten. In den Schluffsteinen treten *Scoyenia*-Grabgänge und partienweise hellgrau-grüne Bleichungsflecken auf. Darauf folgt eine 22,5 m mächtige Fanglomerat-Sandstein-Folge, in deren unterem Teil

partienweise Ton- und Schluffsteine mit hellgraugrünen Bleichungsflecken sowie vereinzelte violettbraune Kristalltuffbomben und violettgraue, bimsartige Lapilli hinzukommen. Zuoberst, bis 2 m unter der Zechstein-Basis, ist diese Folge hellolivgrau gebleicht. Insgesamt werden diese drei Folgen als verwildertes Flusssystem mit debris flows eines alluvialen Fächers, outwashes und Überflutungsablagerungen interpretiert, deren proximaler Teil als Lahar von einem Schildvulkan ausging. Die *Scoyenia*-Grabgänge und das Auftreten von synsedimentären Lavafetzen, Lapillis und Bomben werden zum Anlass genommen, das gesamte Zechstein-Liegende aus der Bohrung Spremberg Cu Sp 83/60 dem vom Vulkanismus geprägten Unterrotliegend zuzuordnen. Demzufolge würde sich am SE-Ende der Struktur Mulkwitz die tiefste Paläo-Oberfläche über variszisch gefaltetem Unter-Karbon befinden.

Neben den Ergebnissen des Erkundungsobjektes Kupfer Spremberg belegen die Resultate der Erdöl-/Erdgaserkundung in Südost-Brandenburg die bruchtektonische Beeinflussung der basalen Zechstein-Ablagerungen hauptsächlich während der Ablagerung der Werra-Formation. Sie bestimmen das Ablagerungsmilieu, die SW–NE verlaufende Abgrenzung sowie die NW–SE verlaufende Gliederung der Lausitzer Lagune in Werrasteinsalz-Teilbecken durch Anhydritwälle (ROCKEL & ZIEGENHARDT 1979). Teilweise erfasst die bruchtektonische Beeinflussung syntektonisch noch die Staßfurt-Formation.

Während die Begrenzung des Nördlichen Karbonatschelfs der Staßfurt-Formation in Mecklenburg-Vorpommern streng und undifferenziert durch den WNW–ESE Verlauf von Tiefenbrüchen, wie die Stralsunder Störungszone (FRANKE, HOFFMANN & KAMPS 1989) entlang der Tornquistmeer-Sutur kontrolliert wird, quert der Südliche Karbonatschelf in Thüringen, Sachsen-Anhalt und der Lausitz die NW–SE verlaufenden Mitteldeutschen Hauptabbrüche. Dadurch verläuft am Südlichen Karbonatschelf der Staßfurtkarbonat-Lowstand wedge buchtenartig von Störungszone zu Störungszone und löst sich in ihren Bereichen inselartig zu Off-platform-Hochlagen auf. In der Lausitz wird der Verlauf des Lowstand wedges und der Off-platform-Hochlagen durch die einzelnen Erkundungsauswerter unterschiedlich interpretiert (Abb. 4). Deshalb könnten weitere Untersuchungen am vorhandenen Kernmaterial sowie oberflächen-geophysikalische Bohrungserkundungen zwischen Groß Kōris-Dissen-Merzdorfer und Guben-Fürstenwalder Störungszone von Nutzen sein.

Aus der 1. Havarieablenkung der Bohrung Rhinow E Rhi 5h/71 fällt aus dem unteren Kalzit laminierten Abschnitt des Staßfurtkarbonat-Bohrkerns eine Partie Kalzit laminiertes Karbonate auf, die gefältelt ist (Taf. 2). Die Fältelung wird durch Faltenachsen senkrecht zur Schichtung bestimmt. Deshalb ist ihre Bildung infolge Hangrutschung nicht erklärbar. Sie wird als Hinweis auf syntektonische Erdbeben gewertet, die noch während der Ablagerung des Staßfurtkarbonats und vor Verfestigung des Abschnittes stattfanden.

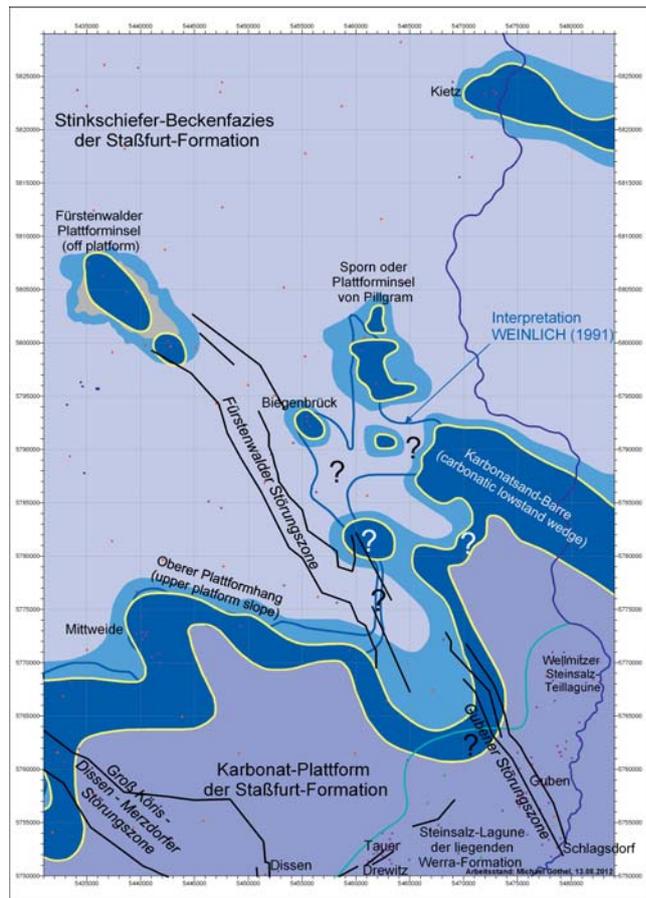


Abb. 4: Interpretationen der Staßfurtkarbonat-Fazies in SE-Brandenburg

rote Punkte – Tiefbohrungen der staatlichen geologischen Kartierung; violette Punkte – Tiefbohrungen der Erdöl-/Erdgaserkundung; grüne Punkte – Tiefbohrungen der WISMUT-Erkundung auf Uran; blaue Punkte – Tiefbohrungen der Thermalsole-Erkundung

Fig. 4: Interpretation of the Staßfurt carbonate facies in SE-Brandenburg (according to ROCKEL & ZIEGENHARDT 1979, STROHMENGER, ROCKENBAUCH & WALDMANN 1998, WAGNER et al. 1998, WEINLICH 1991)

red points – deep drillings of the official geologic mapping; violet points – deep drillings of the petroleum and gas exploration; green points – deep drillings of the WISMUT-exploration on uranium; blue points – deep drillings of the thermal-sol exploration

Danksagung

Herzlichst möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. JÖRG SCHNEIDER/TU Bergakademie für den Kenntnisaustausch während des Arbeitstreffens zum Kupferschieferliegenden mit der Kupferschiefer Lausitz GmbH (KSL) im Bohrkern- und Probenarchiv Wünsdorf des LBGR am 05.11.2010 und den fruchtbaren wissenschaftlichen Streit während der gemeinsamen Betreuung der Diplomarbeit von Frau Dipl.-Geologin DIANA HERMANN/KSL vom 01.08.2009 bis zum 24.06.2010 bedanken. Durch ihren Fleiß konnten sämtliche im Bohr-

kernlager Wünsdorf archivierten Bohrkernstrecken aus dem basalen Zechstein und seines Liegenden des Erkundungsobjektes Kupfer Spremberg feldgeologisch neu aufgenommen und die infolge vorangegangener Untersuchungsarbeiten z. T. falsch bezeichneten und zugeordneten Kernkisten richtig sortiert werden. Für den Austausch wissenschaftlicher Standpunkte, der sehr guten gemeinsamen Organisation und dem Gelingen des Zechstein Mudrock Core Workshops im Bohrkern- und Probenarchiv des LBGR in Wünsdorf am 31.05.2012 bin ich Frau Dr. URSULA HAMMES/The University of Texas, Austin, TX, USA zu Dank verpflichtet. Herr Dr. MANFRED HAUPTMANN/International Geological Consulting Berlin gab mir dienliche Hinweise aus seiner Berufspraxis zur geologischen Situation in Nord-Afrika und über entsprechende Literatur dazu. Insbesondere bedanke ich mich bei ihm für die kritische Durchsicht des Manuskripts. Frau Dr. JAQUELINE STRAHL/LBGR Brandenburg gebührt mein großer Respekt und Dank für ihre Hinweise zum Manuskript, ihre Korrekturlesung und Engelsgeduld bis zur Fertigstellung dieses Artikels.

Zusammenfassung

Die Ablagerungen des Zechsteins lassen sich entsprechend den Vorschlägen der SUBKOMMISSION PERM-TRIAS (2011) in sieben Formationen gliedern. Sie werden entsprechend STROHMENGER, ROCKENBAUCH & WALDMANN (1998) und KAISER, NÖTH & RICKEN (2003) zusammen mit der Calvörde-Formation, an der Basis des Buntsandsteins, acht eustatischen Zyklen 3. Ordnung zugeordnet. Die Zyklen Pz 1 bis 4 werden tektonisch kontrolliert. Die Zechstein-Basis wird vom marinen Zechsteinkonglomerat oder Weißliegendesandstein gebildet. Darüber können noch Kalksteine oder Kalkschluff oder -sandsteine folgen, ehe der Kupferschiefer einsetzt. Die Zechstein-Basis zeichnet sich durch marine Fossilien, Bioturbation und marines Gefügeinventar aus. Die kurzzeitige Zechstein-Transgression mit Sturmkiesbarren ist möglicherweise auf den Riesenimpakt von Wilkes Land in der Antarktis zurückzuführen.

Summary

According to proposals of the SUBKOMMISSION PERM-TRIAS (2011) the Zechstein deposits can be divided into seven Formations. Corresponding to STROHMENGER, ROCKENBAUCH & WALDMANN (1998) and KAISER, NÖTH & RICKEN (2003) the Zechstein group, together with the Calvörde formation at the base of the Buntsandstein group is correlated with eight eustatic 3rd order cycles. The cycles Pz 1 to 4 are tectonically controlled. The base of the Zechstein group is formed by the marine Zechsteinkonglomerat and Weißliegendesandstein member. Above this limestones and carbonatic silt- or sandstones may follow, before the beginning of the Kupferschiefer member. The base of the Zechstein group is characterized by marine fossils, bioturbation and marine stratification. The short-term Zechstein transgression with

storm gravel bars is possibly caused by the giant impact of the Wilkes Land/Antarctica.

Literatur

- ADAMIA, S., ZAKARIADZE, G., CHKHOTUA, T., SADRADZE, N., TSERETELI, N., CHABUKIANI, A. & A. GVENTSADZE (2011): Geology of the Caucasus: A Review. – Turkish J. Earth Sci. **20**, S. 489 – 544, Tübitak
- 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, Halle
- FRANKE, D., HOFFMANN, N. & J. KAMPS (1989): Alter und struktureller Bau des Grundgebirges im Nordteil der DDR. – Z. angew. Geol. **35**, 10/11, S. 289 – 296, Berlin
- FREIESLEBEN, J. C. (1815): Geognostischer Beitrag zur Kenntnis des Kupferschiefergebirges mit besonderer Hinsicht auf einen Theil der Grafschaft Mansfeld und Thüringens, Dritter Theil. – 338 S., Freyberg
- GAITZSCH, B., RÖSSLER, R., SCHNEIDER, J. W. & S. SCHRETZENMAYR (1998): Neue Ergebnisse zu Verbreitung potentieller Muttergesteine im Karbon der variscischen Vorsenke in Nordostdeutschland. – Geol. Jb. **A 149**, S. 25 – 58, Hannover
- GEE, D. G., FOSSEN, H., HENRIKSEN, N. & A. K. HIGGINS (2008): From the Early Paleozoic Platforms of Baltica and Laurentia to the Caledonide Orogen of Scandinavia and Greenland. – Episodes **31**, 1, S. 44 – 51, International Union of Geological Sciences
- GEHARDT, U., HELMUTH, H. J., KLEDITZSCH, O. & S. SÜSSMUTH (1995): Havel-Subgruppe. – In: Plein, E. (ed.): Rotliegend-Monographie Teil 2, Norddeutsches Rotliegendebcken. – Stratigraphie von Deutschland **1**, S. 110 – 121, Frankfurt a. M.
- GÖTHEL, M. (2012): Stratigraphy and Paleogeography of the Upper Permian Zechstein Group: Overview to depositional sequences of the southern platform margin into the basin centre. – Vortrag zum Core Workshop on sedimentology, sequence stratigraphy, and geochemistry of Upper Permian (Zechstein) organic-rich mudrocks (Part 2), gehalten in Wünsdorf am 31.05.2012
- GÖTHEL, M. & TRÖGER (2002): Zur Oberkreide-Entwicklung der Nordsudetischen Kreidemulde, westlicher Teil (Lausitz, Deutschland). – Z. geol. Wiss. **30**, 6, S. 369 – 383, Berlin
- HAQ, U. B. & S. R. SCHUTTER (2008): A Chronology of Paleozoic Sea-Level Changes. – Science **322**, S. 64 – 68, Cambridge

- HAUBOLD, H. & G. SCHAUMBERG (1985): Die Fossilien des Kupferschiefers. – Die Neue Brehm-Bücherei **333**, 223 S., Wittenberg (Ziemsen-Verlag)
- HERMANN, D. (2010): Untersuchungen an der Zechsteinbasis, speziell des Kupferschiefers und dessen Liegendes in der Lausitz zur Interpretation von Eustatik, Lithostratigraphie und Paläogeographie. – Diplomarbeit, Textband 57 S., Anlagenband 174 S., Technische Universität Bergakademie Freiberg (unveröff.)
- HOEPFFNER, C., SOULAIMANI, A. & A. PIQUE (2005): The Moroccan Hercynides. – *Journal of African Earth Science* **43**, S. 144 – 165, Amsterdam (Elsevier)
- HONGFU, Y., KEXIN, Z., JINNAN, T., ZUNYI, Y. & W. SHUNBAO (2001): The Global Stratotype Section and Point (GSSP) of the Permian-Triassic Boundary. – *Episodes* **24**, 2, S. 102 – 114, International Union of Geological Sciences
- HROUDA, F. & S. BRANDT (2005): Friedrich Eduard Mackroth (1807 – 1866) – Pionier der Zechsteinforschung in Gera. – *Veröff. Museum Gera, Naturwiss. Reihe* **32**, S. 139 – 144, Gera
- 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, Berlin, Heidelberg (Springer)
- KALVODA, J., BABEK, O., FATKA, O., LEICHMANN, J., MELICHAR, R., NEHYBA, S. & P. SPACEK (2008): Brunovistulian terrane (Bohemian Massif, Central Europe) from late Proterozoic to late Paleozoic: a review. – *Int. J. earth Sci (Geol. Rundsch.)* **97**, S. 497 – 518, Berlin, Heidelberg (Springer)
- KERKMANN, K. (1969): Riffe und Algenbänke im Zechstein von Thüringen. – *Freiberger Forschungshefte C* **252**, 85 S., Leipzig
- KIERSNOWSKI, H., PAUL, J., PERYT, T. M. & D. B. SMITH (1995): Facies, paleogeography, and sedimentary history of the Southern Permian basin in Europe. – In: SCHOLLE, P. A., PERYT, T. M. & D. S. ULMER-SCHOLLE (eds.): *The Permian of Northern Pangea, Volume 2*, S. 119 – 136, Berlin, Heidelberg (Springer)
- KOPP, J., HERRMANN, S. & T. HÖDING (2008): Die Kupfer-Silber-Lagerstätte Spremberg-Graustein (Lausitz, Bundesrepublik Deutschland) – Buntmetallanreicherungen an der Zechsteinbasis zwischen Spremberg und Weißwasser. – *Z. geol. Wiss.* **36**, 1, S. 75 – 114, Berlin
- KOZUR, H. (1994): The Correlation of the Zechstein with the Marine Standard. – *Gl. Jb., Geol. B.-A.*, **137**, 1, S. 85 – 103, Wien
- KOZUR, H. (1995): Permian conodont zonation and its importance for the Permian stratigraphic standard scale. – *Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck*, **20**, S. 165 – 205, Innsbruck
- KOZUR, H. W. (2003): Integrated ammonoid, conodont and radiolarian zonation of the Triassic. – *Hallesches Jahrb. Geowiss.* **B 25**, S. 49 – 79, Halle
- KOZUR, H. W. (2007): Permophiles Perspective: 30 years and 50 issues: The long journey from the globally most unsatisfactory stratigraphic subdivision of all Phanerozoic systems to one with the best elaborated international scale. – *Permophiles* **50**, S. 4 – 6, Subcommission on Permian Stratigraphy
- LANGEREIS, C. G., KRIJGSMAN, W., MUTTONI, G. & M. MENNING (2010): Magnetostratigraphy – concepts, definitions, and applications. – *Newsletter on Stratigraphy* **43**, 2, S. 207 – 233, Stuttgart
- LEGLER, B. & J. W. SCHNEIDER (2008): Marine incursions into the Middle/Late Permian saline lake of the Southern Permian Basin (Rotliegend, Northern Germany) possibly linked to sea-level highstands in the Arctic rift system. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **267**, S. 102 – 114, Amsterdam (Elsevier)
- MEINKE, F. (1911): Das Liegende des Kupferschiefers. – *Jb. preuß. geol. Landesanstalt* **31**, S. 253 – 296, Berlin
- MENNING, M. (1995): Magnetostratigraphie. – In: PLEIN, E. (ed.): *Rotliegend-Monographie Teil 2, Norddeutsches Rotliegendbecken. – Stratigraphie von Deutschland* **1**, S. 40 – 45, Frankfurt a. M.
- MENNING, M., ALEKSEEV, A. A., CHUVASHOV, B. I., DAVYDOV, V. I., DEVUYST, F.-X., FORKE, H. C., GRUNT, T. A., HANCE, L., HECKEL, P. H., IZOKH, N. G., JIN, Y.-G., JONES, P. J., KOTYLAR, G. V., KOZUR, H. W., NEMYROVSKA, T. I., SCHNEIDER, J. W., WANG, X.-D., WEDDIGE, K., WEYER, D. & D. M. WORK (2006): Global time scale and regional stratigraphic reference scales of Central and West Europe, East Europe, Tethys, South China, and North America as used in the Devonian–Carboniferous–Permian Correlation Chart 2003 (DCP 2003). – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **240**, S. 318 – 372, Amsterdam (Elsevier)
- MUNTEANU, M. & M. TATU (2003): The East-Carpathian Crystalline-Mesozoic Zone (Romania): Paleozoic amalgamation of Gondwana- and East European Craton-derived Terranes. – *Gondwana Research* **6**, 2, S. 185 – 196, International Association for Gondwana Research
- OGG, J. G., OGG, G. & F. M. GRADSTEIN (2008): *The Concise Geologic Time Scale.* – 184 S., Cambridge University Press

- PHARAO, T. C. & TESZ PROJECT CORE GROUP (2000): Europrobe Trans-European Suture Zone. – EUROPROBE News **13**, S. 4 – 5, British Geological Survey, Keyworth
- REICHENBACH, W. (1963): Zechstein der Scholle von Calvörde. – Exkursionsführer 10. Jahrestagung Ges. geol. Wiss. DDR, S. 8 – 15, Berlin
- RENTZSCH, J. (1965): Die feinstratigraphisch-lithologische Flözlagenparallelisierung im Kupferschiefer am Südrand des norddeutschen Zechsteinbeckens. – Z. angew. Geol. **11**, 1, S. 11 – 14, Berlin
- RIBEIRO, A., SANDERSON, D. & SW-IBERIA COLLEAGUES (1996): SW-Iberia, Transpressional Orogeny in the Variscides. – In: GEE, D. G. & H. J. ZEYEN (eds.): EUROPROBE 1996 – Lithosphere Dynamics: Origin and Evolution of Continents. – S. 91 – 98, Uppsala University (EUROPROBE Secretariate)
- RICHTER-BERNBURG, G. (1955a): Über saline Sedimentation. – Z. dt. geol. Ges. **105** (für 1953), S. 593 – 646, Hannover
- RICHTER-BERNBURG, G. (1955b): Stratigraphische Gliederung des deutschen Zechsteins. – Z. dt. geol. Ges. **105** (für 1953), S. 843 – 854, Hannover
- ROCKEL, W. & W. ZIEGENHARDT (1979): Strukturelle Kriterien der Lagunenbildung im tiefen Zechstein im Raum südlich Berlin. – Z. geol. Wiss. **7**, 7, S. 847 – 860, Berlin
- ROSCHER, M. & J. W. SCHNEIDER (2006): Permo-Carboniferous climate: Early Pennsylvanian to Late Permian climate development of central Europe in a regional and global context. – In: LUCAS, S. G., CASSINIS, G. & J. W. SCHNEIDER (eds.): Non-Marine Permian Biostratigraphy and Biochronology. – Geological Society Special Publications **265**, S. 95 – 136, London
- RUBAN, D. A., AL-HUSSEINI, M. I. & Y. IWASAKI (2007): Review of Middle East Paleozoic plate tectonics. – GeoArabia **12**, 3, S. 35 – 47, Bahrain
- SCHNEIDER, J. W., LEGLER, B., JEHRIG, S. & U. GEBHARDT (2010): Typen und Genese des Zechsteinkonglomerates und seiner Äquivalente – Gedanken zum Verlauf der Zechstein-Transgression. – Vortrag zum 1. Internationalen Symposium: Die Korbacher Spalte – Fenster in die Lebewelt des Ober-Perms vor 250 Mio. Jahren, gehalten in Korbach am 30.10.2010
- SCHÜLER, F. (1976): Der Buntsandstein im Nordosten der DDR. – Jb. Geol. **7/8** (für 1971/72), S. 81 – 86, Berlin
- SCHULZE, G. (1969): Der Untere Buntsandstein der Scholle von Calvörde und benachbarter Gebiete. – Geologie **18**, 1, S. 5 – 20, Berlin
- SEIFERT, J. (1972): Das Perm am Südostrand des Thüringer Beckens. – Jb. Geol. **4** (für 1968), S. 97 – 179, Berlin
- SIEGERT, C., TZSCHORN, G. & G. WINKLER (1963): Die fein-stratigraphische Gliederung des Kupferschiefers im Raum Spremberg–Weißwasser. – Z. angew. Geol. **9**, 9, S. 452 – 455, Berlin
- STAMPFLI, G. M. & G. D. BOREL (2002): A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrons. – Earth and Planetary Science Letters **196**, S. 17 – 33, Amsterdam (Elsevier)
- 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, Hannover
- SUBKOMMISSION PERM-TRIAS (2011): Beschlüsse der Deutschen Stratigraphischen Kommission 1991–2010 zu Perm und Trias von Mitteleuropa. – Z. dt. Ges. Geowiss. **162**, 1, S. 1 – 18, Stuttgart
- SZANIAWSKI, R. (2008): Late Paleozoic geodynamics of the Małopolska Massif in the light of new paleomagnetic data for the southern Holy Cross Mountains. – Acta Geologica Polonica **58**, 1, S. 1 – 12, Warszawa
- SZURLIES, M., BACHMANN, G. H., MENNING, M., NOWACZYK, N. R. & K.-C. KÄDING (2003): Magnetostratigraphy and high-resolution lithostratigraphy of the Permian–Triassic Boundary interval in Central Germany. – Earth and Planetary Science Letters **212**, S. 263 – 378, Amsterdam (Elsevier)
- VAIDA, M., SEGHEDI, A. & J. VERNIERS (2005): Northern Gondwanan affinity of the East Moesian Terrane based on chitinozoans. – Tectonophysics **410**, S. 379 – 387, Amsterdam (Elsevier)
- VALVERDE-VAQUERO, P., DÖRR, W., BELKA, Z., FRANKE, W., WISZNIEWSKA, J. & J. SCHASTOK (2000): U–Pb single-grain dating of detrital zircon in the Cambrian of central Poland: implications for Gondwana versus Baltica provenance studies. – Earth and Planetary Science Letters **184**, S. 225 – 240, Amsterdam (Elsevier)
- WAGNER, M., RASCH, H.-J., PISKE, J. & B. ZIRAN (1998): Mikrobielle Prospektion auf Erdöl und Erdgas in Ostdeutschland. – Geol. Jb. **A 149**, S. 287 – 307, Hannover
- WEINLICH, F. H. (1991): Genese und Verteilung der freien Gase im Staßfurtkarbonat (Ca₂) der Lausitz, Teil 2: Die Verteilungsprinzipien der freien Gase. – Z. angew. Geol. **37**, 2, S. 52 – 58, Berlin

ZENTRALES GEOLOGISCHES INSTITUT (1974): Fachbereichsstandard Geologie, Stratigraphie, Stratigraphische Skala der DDR, Trias. – Ministerium für Geologie, 6.8.1974, TGL 25234/11, 17 S., Berlin

ZENTRALES GEOLOGISCHES INSTITUT (1980): Fachbereichsstandard Geologie, Stratigraphie, Stratigraphische Skala der DDR, Perm. – Ministerium für Geologie, 10.7.1980, TGL 25234/12, 18 S., Berlin

ZIEGLER, P. A. (1990): Geological Atlas of Western and Central Europe. – 2nd ed., Shell Int. Petrol. Mij. and Geol. Soc., London

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, 120 S., Berlin

Anschrift des Autors:

Dipl.-Geol. Michael Göthel
Landesamt für Bergbau,
Geologie und Rohstoffe Brandenburg
Inselstraße 26
03046 Cottbus
michael.goethel@lbgr.brandenburg.de