© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

BERICHTE DER NATURFORSCHENDEN GESELLSCHAFT DER OBERLAUSITZ

Band 26 | Görlitz 2018 | Seite 77–105

Steinkohle in den Oberkreide-Sandsteinen von Waltersdorf im Zittauer Gebirge, Sachsen

Von OLAF TIETZ, WOLFRAM LANGE, NORBERT VOLKMANN, HENNY GERSCHEL, ERIK WENGER, MARKUS WILMSEN, MARCELA SVOBODOVÁ und JÖRG BÜCHNER

Zusammenfassung

In einem temporären Aufschluss in Neu Sorge – einer Ortslage von Waltersdorf in der Gemeinde Großschönau/Sachsen – wurden im Jahr 1988 geringmächtige Steinkohleschichten in kreidezeitlichen Sandsteinen entdeckt, dokumentiert und einschließlich der Begleitgesteine (Sandstein, Phonolith) beprobt. Die heute nicht mehr zugängliche Fundstelle wird dem Sonnenberg-Sandstein der Waltersdorf-Formation (Grenzbereich Turon/Coniac) zugeordnet und liegt unmittelbar südlich der Lausitzer Überschiebung im Zittauer Gebirge. Dieses bildet den nordöstlichen Ausläufer des Sächsisch-Böhmischen Kreidebeckens. Sedimentologische, kohlenpetrographische und palynologische Untersuchungen erbrachten, dass es sich um Rollkohlen handelt, die durch sekundäre Umlagerung von Torflagern in einem Delta randmarin abgelagert wurden und somit die Existenz von Mooren auf der Lausitzer Insel zur Oberkreidezeit belegen. Reste fossiler Holzkohlen (Fusit/Fusinit) weisen zudem auf syngenetische Torf- und Waldbrände im terrestrischen Liefergebiet hin. Anhand von Vitrinitreflexions-Messungen sind die Funde als Fettkohle, eine hoch inkohlte Steinkohle über dem 2. Inkohlungssprung, zu charakterisieren. Zusätzlich wurde ein Teil der Vitrinite postgenetisch thermisch überprägt („Thermo-Vitrinite“). Dies wird durch eine lagergangartige Phonolithintrusion unmittelbar unter den kohleführenden Sandsteinen erklärt. Für die untersuchte Kohle ist eine maximale Versenkungstiefe von 3,3–4,2 km zu postulieren. Unter Berücksichtigung der bis heute erhaltenen kreidezeitlichen Liegendsedimente unter den Kohlen ergibt sich eine ursprüngliche Gesamtmächtigkeit der Kreideablagerungen im Zittauer Gebirge von 3,9–4,8 km, wobei ein Teil der aus der Berechnung des Inkohlungsgrades resultierenden Überdeckung auch durch überschobene granitoide Gesteine des Lausitzer Blocks erklärt werden kann. Unabhängig davon muss ein Großteil der überdeckenden Gesteine postkretazisch abgetragen worden sein.

Abstract
Bituminous coal in Upper Cretaceous sandstones from Waltersdorf in the Zittauer Gebirge, Saxony

In a temporary outcrop of Cretaceous sandstones in Neu Sorge – a local district of Waltersdorf in the municipality of Großschönau, federal state of Saxony – small-scale coal seams were discovered, documented and sampled (including the associated sandstone and phonolite) in 1988. The locality is attributed to the Sonnenberg Sandstone (Member) of the Waltersdorf Formation (Turonian/Coniacian boundary interval) and is situated immediately south of the Lausitz Overthrust

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

(Lausitzer Überschiebung) in the Zittauer Gebirge. The mountains represent the most northeastern part of the Saxo-Bohemian Cretaceous Basin. Sedimentological, coal petrographical and palynological investigations reveal an allochthonous character for the analysed coals. It is assumed that these coals were formed by re-deposition of peat matter in a deltaic environment under marginal marine conditions. Therefore, these coals strongly support the existence of peat bogs on the Lausitz Island (Lausitzer Insel) during the Late Cretaceous epoch. Furthermore, relicts of fossil charcoal (fusite/fusinite) suggest syngenetic peat bog and forest fires in the terrestrial source area. Based on vitrinite reflection measurements, the finds are specified as medium-volatile bituminous coals, indicating an increased degree of coalification above the 2nd coalification jump. Additionally, part of the vitrinite was thermally altered ("thermo-vitrinite"), which is explained by a sill-like phonolite intrusion immediately below the coal bearing sandstones. A maximum burial depth of 3.3–4.2 km is postulated for the analysed coals, which yields a total thickness of 3.9–4.8 km for the Upper Cretaceous deposits in the Zittauer Gebirge when the Cretaceous strata below the coal bearing units (ca. 600 m) are added. However, a part of the inferred overburden may also be related to granitoid rocks that have been thrusted onto the coal site during inversion of the Lausitz Block along the Lausitz Overthrust. Most of the former overburden was denudated in post-Cretaceous times.

Keywords: Saxo-Bohemian Cretaceous Basin, Sedimentology, coal petrography, palynology, rodlet coal, deltaic deposits, carbonization by thermal overprinting, charcoal, phonolite.

1 Einleitung

Die vorliegenden Untersuchungen beschäftigen sich mit einer 1987/88 aufgeschlossenen Lokalität in Neu Sorge, einer Ortslage von Waltersdorf in der Gemeinde Großschönau im Zittauer Gebirge. Hier wurde in den 1980er Jahren nach dem Abriss des Gasthauses „Neu Sorge" (früher Sorgemühle) ab 1988 die hangseitige Böschung nach Südosten erweitert, um Platz für ein Betriebsferienheim der LPG (Landwirtschaftliche Produktionsgenossenschaft) „Schöpstal" zu schaffen. In diesem Zusammenhang erfolgte bereits 1987/1988 die Anlage eines 1,0 m bis 1,5 m tiefen Kabelgrabens, der von der heutigen Waltersdorfer Hauptstraße in einem nordwärtigen Bogen um den Hoppeberg verlief und dann von Osten kommend das Areal des geplanten Betriebsferienheimes erreichte. Beide Baumaßnahmen schufen wichtige temporäre Aufschlüsse, die von Wolfram Lange aus Zittau dokumentiert und beprobt wurden (Lange 2015a, 2015b). Spektakulär war vor allem die Beobachtung einer bis 10 cm mächtigen Kohleschicht im anstehenden Sandstein der neu aufgefahrenen Böschung des Betriebsferienheimes (Lange 2015b), da solche Funde aus der Kreide des sächsisch-böhmisch-schlesischen Raumes nur lokal bekannt sind. Aber auch der Nachweis einer Phonolithintrusion im Sandstein und zweier temporärer Sandsteinaufschlüsse im bisher als Granit kartierten Areal waren weitere wichtige Beobachtungen, die neben den bemerkenswerten Steinkohlefunden Gegenstand der vorliegenden Arbeit sind. Nach der politischen Wende wurde 1993 das bereits im Bau befindliche LPG-Betriebsferienheim von der Diakonie übernommen und 1995 als Altenpflegeheim „Lazarus-Haus" eingeweiht (Rölke 2006, S. 87). Heute sind die beschriebenen Böschungen weitestgehend abgedeckt und der geologische Untergrund ist nicht mehr einsehbar.

Das Untersuchungsgebiet, die Baustelle des ehemaligen Betriebsferienheimes, befindet sich am Ostrand der Ortslage Neu Sorge und am NW-Rand des Zittauer Gebirges (Abb. 1), dessen großes und geschlossenes Waldgebiet sich unmittelbar südlich anschließt, wohingegen direkt nördlich und mit scharfer Grenze die offenen Wiesen- und Feldfluren des Ostlausitzer Hügellandes beginnen. Dieser Wechsel in der Kulturlandschaft wird durch den geologischen Untergrund bedingt (s. Kap. 2), womit auch ein steiler Anstieg des Zittauer Gebirges verbunden ist. Da sich das Untersuchungsgebiet noch im Sandsteinareal befindet, kann es naturräumlich dem Zittauer Gebirge zugeordnet werden. Das Zittauer Gebirge ist der

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

relativ kleine deutsche Anteil des sich südlich anschließenden Lausitzer Gebirges (tschechisch: Lužické hory), welches sich größtenteils auf tschechischem Gebiet (Nordböhmen) mit einer Ausdehnung von etwa 30 km zwischen Česká Kamenice im Westen und Jítrava im Osten erstreckt. Beide Gebirgsteile wurden vor 1945 zusammen als Lausitzer Gebirge bezeichnet (z. B. Popig 1903), was in dieser Arbeit so wieder aufgegriffen werden soll.

Die 1988 frisch angelegte Böschung östlich und südlich des heutigen Lazarus-Hauses bestand aus zwei rechtwinklig zueinander verlaufenden Abschnitten: einem ca. 50 m langen NE-Bereich und einem ca. 90 m langen SE-Bereich, der am SW-Ende einen Versatzknick

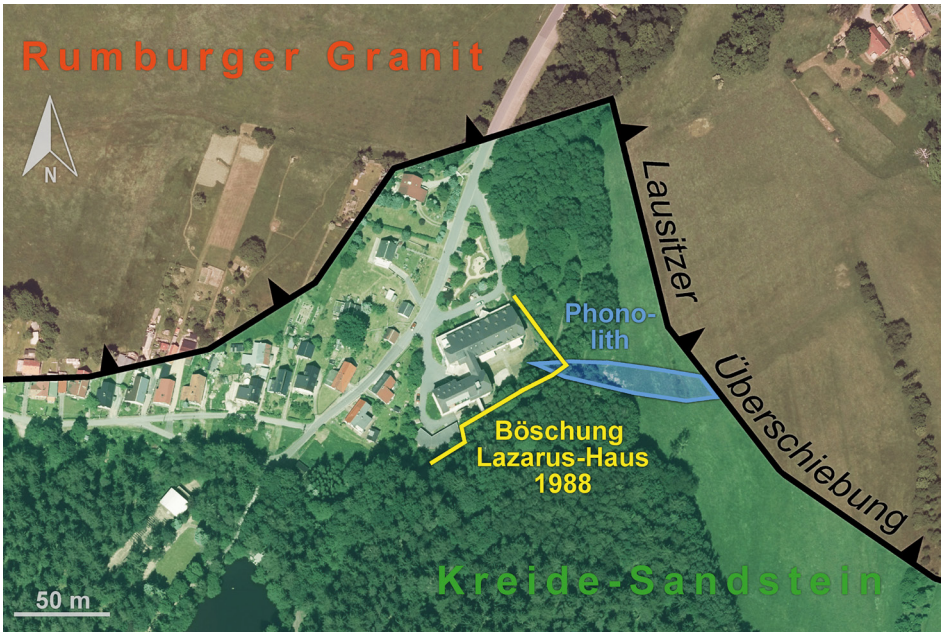


Abb. 1: Luftbild des Untersuchungsgebietes von Waltersdorf, Ortslage Neu Sorge (Häuserreihe links) mit dem heutigen Lazarus-Haus (Gebäudetrakt Mitte), der Aufschlussböschung von 1988 und der Geologie. Karte erstellt nach Geoportal Sachsenatlas (Luftbild vom 9.6.2014 und Reliefdarstellung/Schummerungsbild) für Verlauf der Böschung sowie Siegert (1895) und Lange (2015a, 2015b) für die Geologie.

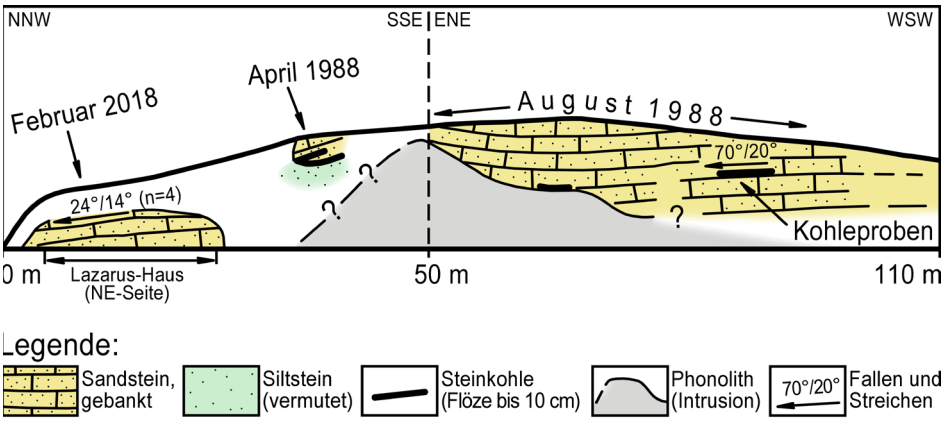


Abb. 2: Geologische Profilskizze von der Böschung des Lazarus-Hauses, zusammengestellt nach den Dokumentationen vom April und August 1988 (Lange 2015b) und Februar 2018. Längsmaßstab = Höhenmaßstab.

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

aufweist. Das Böschungsende wurde ab hier nicht dokumentiert und ist daher auch in der Profilskizze (Abb. 2) nicht dargestellt. Die Lokalität wurde 1988 zweimal aufgesucht. Bereits im April konnten unmittelbar nordwestlich des rechtwinkligen Böschungsknicks drei dünne Steinkohleschichten[1] im Sandstein ca. 2 m unter der Geländeoberkante beobachtet werden (Abb. 3). Dieser Abschnitt war bei der zweiten Vor-Ort-Begehung im August 1988 bereits wieder abgetragen, dafür fanden sich im südöstlichen Böschungsbereich ca. 15 m und 35 m südwestlich des Böschungsknickes zwei neue Aufschlüsse mit Kohleschichten. Weiterhin wurde im Liegenden des anstehenden Sandsteines ein intensiv kaolinisierter Phonolith angetroffen (Abb. 4), der aufgrund der Lage eine subvulkanische Intrusion darstellen muss, die lokal mindestens 12 m mächtig wird. Die Kohleschicht 15 m südwestlich des Böschungsknickes war etwa 5 cm mächtig und lagerte unmittelbar über dem Kontakt zum Phonolith. Dagegen wurde die Lage 35 m südwestlich des Böschungsknickes ca. 4 m über dem Phonolith mitten im Sandstein angetroffen. Hier war es, ähnlich der Situation vom April 1988, in drei einzelne, flach muldenförmig eingesenkte Lagen aufgespalten und die liegende Schicht mit 10 cm am mächtigsten ausgebildet (Abb. 5). Die von 1988 vorliegenden Kohle- und Sandsteinproben (s. Kap. 4–6) stammen nur von hier

[1] Aufgrund der geringen Mächtigkeit müsste von Flözchen gesprochen werden, was aber aus sprachlichen Gründen im Beitrag generell unterlassen wird.

Abb. 3: Drei muldenartig aufgespaltene Steinkohlenschichten an der Basis von dünnbankig bis plattig abgesonderten Sandsteinen, die hangend in eine bankige Absonderung von bis ca. 0,5 m übergehen. Das Liegende der Kohleschichten besteht wahrscheinlich aus Siltsteinen, was aus der weicheren Verwitterungsform geschlussfolgert wird. Sandsteinblock ca. 1 m hoch. Foto vom April 1988, für die Position des Fotos siehe Abb. 2. Foto: W. Lange

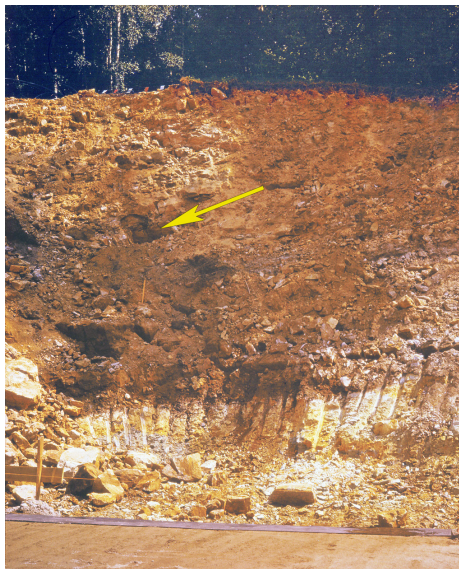


Abb. 4: SE-Böschung des heutigen Lazarus-Hauses vom August 1988. Über dem Phonolith (hell) folgen mit scharfer Grenze (dünn-)bankige Sandsteine mit flachem Einfallen nach NE (links). Der Pfeil zeigt das Loch der Probennahmestelle mit bis 10 cm mächtigen Kohleschichten (Abb. 2 und 5). Das Profil ist ca. 12 m hoch. Foto: W. Lange

Abb. 5: (Dünn-)bankige Sandsteine mit drei Kohleschichten, die Liegende ist ca. 10 cm mächtig. Position des Fotos siehe Abb. 2 („Kohleproben“) und Abb. 4. Foto: W. Lange

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

aus einem ca. 0,7 m mächtigen Profilabschnitt. Die Lagerung der (dünn-)bankigen Sandsteine wurde an dieser Stelle mit einem Touristen-Kompass näherungsweise bestimmt.

Eine Vor-Ort-Begehung im Februar 2018 zeigte, dass am Ende der NE-Böschung auf Höhe des Lazarus-Hauses noch eine bis 2,5 m hohe Sandsteinklippe ansteht. Von hier wurden weitere Gesteinsproben für die lithologischen Untersuchungen entnommen und die Lagerung der Schichtung mit einem Gefügekompass bestimmt (Abb. 2). Ein ähnlich flaches NNE-Einfallen der Sandsteinschichten erbrachte eine weitere Messung im 500 m südsüdwestlich gelegenen und auflässigen Leichensteinbruch (20°/10°). Damit ergeben beide Messungen an der Kohlefundstelle für den weiteren Untersuchungsraum vergleichbare Lagerungsverhältnisse der Sandsteinschichten, die in Richtung Lausitzer Überschiebung (s. Kap. 2) einfallen. Nur im Bereich der Phonolithintrusion sind die Sandsteine gegensinnig und flach wellenartig aufgewölbt (Abb. 2). Die Scheitelachse der Sandsteinaufwölbung verläuft im Bereich des Böschungsknicks und lässt sich ca. 70 m nach ESE verfolgen, da hier eine auffällige Quellmulde sehr wahrscheinlich Wasseraustritte über den ausstreichenden und kaolinisierten Phonolith anzeigt (Abb. 1). Ähnliche markante Wasseraustritte zeigten sich auch in der Böschung von 1988 an der Grenze von Phonolith zu Sandstein.

2 Geologischer Rahmen

Die Sandsteine des Lausitzer Gebirges gehören dem unmittelbaren Nordostrand des Sächsisch-Böhmischen Kreidebeckens an und sind stratigraphisch dem unteren Obercenoman bis untersten Mittelconiac (ca. 97–87 Ma) zuzuordnen. Prä-mittelturone Sedimente (≥ 93 Ma) sind jedoch nur in den tief eingeschnittenen Tälern am Nordrand des Gebirges (Oybin, Jonsdorf, Kaisergrund) oder bei Horní Sedlo entlang der Lausitzer Überschiebung (siehe unten) als tektonisch emporgeschleppte Schollen aufgeschlossen (Sitte 1931; Müller 1932; Walaszczyk 1996; Uličný et al. 2009; Voigt et al. 2013; Coubal et al. 2014). Bohrprofile zeigen, dass die Gesamtmächtigkeit der Sandsteinschichten räumlich stark schwankt, maximal aber etwa 900–1.000 Meter beträgt (Lorenz & Kopecký 1964, Säulenprofil 2; Valečka et al. 2006, Coubal et al. 2014). Der Oberkreide des Lausitzer Gebirges gehören insbesondere auf deutschem Staatsgebiet (Zittauer Gebirge) die küstennächsten (proximalsten) lithologischen Einheiten am Nordostrand des Sächsisch-Böhmischen Kreidebeckens an (Niebuhr & Wilmsen 2016a). Weit verbreitete Konglomeratbänke und konglomeratische Sandsteine der turonen Oybin-Formation (Felsreviere um Oybin und Jonsdorf, Voigt et al. 2013) dokumentieren diese unmittelbare Nähe zum nördlich vorgelagerten Liefergebiet, dem als Insel angehobenen Lausitzer Block (siehe unten). Die Sandsteine in der Umgebung des Untersuchungsgebietes sind Teil der Waltersdorf-Formation, wobei sie im nahen Umfeld der hier behandelten Kohleschicht dem Sonnenberg-Sandstein (oder Sonnenberg-Member), einer Subformation, angehören, welche dem späten Oberturon bis frühen Unterconiac zuzuordnen ist (ca. 89,5–90 Ma, Walaszczyk 1996; Tröger & Niebuhr 2014) (Abb. 6). Dies ließ sich insbesondere anhand einer erneuten Evaluierung der Profildokumentation der ca. 77 m westsüdwestlich zum Kohlefundort abgeteuften Bohrung „Waltersdorf 1930“ untermauern, da hierbei erstmals die liegende Lückendorf-Formation außerhalb ihrer Typlokalität eindeutig nachgewiesen werden konnte. Sie wurde 28,3 m bis 53,3 m unter dem Bohransatzpunkt (= 446,10 m ü. NN) angetroffen (Voigt et al. 2013). Damit befindet sich die Kohlefundschicht, unter Beachtung der flach nach NNE einfallenden Schichtung (s. Kap. 1), ca. 43 m über dem Top der Lückendorf-Formation. Die Gesamtmächtigkeit der Kreideablagerungen im Untersuchungsgebiet kann anhand der generellen Profilabfolge für das Zittauer Gebirge auf etwa ≥ 570 m geschätzt werden (Abb. 6). Darunter lagert Rumburk-Granit (siehe unten), der die Fortsetzung des unmittelbar nördlich bis an die heutige Erdoberfläche angehobenen Grundgebirges des Lausitzer Blocks bildet (Lorenz & Kopecký, Profil 1–2).

Die Kohlefundstelle befindet sich in direkter Nachbarschaft zur Lausitzer Überschiebung, einer geologischen Störung, welche nur wenige Meter weiter östlich, nördlich und westlich verläuft (Siegert 1895) (Abb. 1). Den Aufschluss-

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

beobachtungen aus einem 1987/88 angelegten Kabelgraben zufolge kann der Verlauf der Störung gegenüber Siegert (1895) präzisiert werden. Danach verläuft sie ≥ 50 m ostnordöstlich des Böschungsknickes der Kohlefundstelle, da sich bis hierhin Sandstein im Graben nachweisen ließ. Der unmittelbare Kontakt zum Granit, der für die Position der Störung ausschlaggebend ist (siehe unten), ist hier aber nicht feststellbar, da erst weitere 120 m östlich wieder Festgestein in Form von Basalt im Graben angetroffen wurde (Lange 2015a). Auch im Nordwesten muss der Kontakt zur Lausitzer Überschiebung entgegen der Kartierung von Siegert (1895) mindestens 60 m weiter nach NW verschoben werden, da in der Baugrube auf dem Grundstück Neusorge 11 noch Sandstein angetroffen wurde (Beobachtung W. Lange 1988). Die Struktur der Lausitzer Überschiebung wurde zuletzt von Coubal et al. (2014) für die beiden tschechischen Teilabschnitte und von Krentz & Stanek (2015) für den Gesamtverlauf untersucht. Nach Coubal et al. (2014) zeigte ein Detailprofil bei Jiřetín pod Jedlovou, 4,3 km westlich der Kohlefundstelle, dass sie hier als sehr flache Aufschiebung mit einer Neigung von 16° bis 21° und einem Einfallen nach Norden ausgebildet ist. Krentz & Stanek (2015, Abb. 7) geben dagegen für das östliche Zittauer Gebirge einen Fallwert von 45° an. Dieser Wert wurde anhand paralleler Scherklüfte im hangenden Granodiorit des Weißbachtales bei Hartau ca. 100 m nördlich der Störung bestimmt (schriftl. Mitt. Prof. K. Stanek, Freiberg, Oktober 2015). Für den westlichen Raum bei Waltersdorf liegen dagegen keine Angaben vor. Die Lagerungsverhältnisse der Sandsteine im Untersuchungsgebiet liefern jedoch wichtige Hinweise: Die Störung zeigt sich Coubal et al. (2014) zufolge im westlichen Lausitzer Gebirge als flache Aufschiebung, wodurch die liegenden (überschobenen) Sandsteine leicht verstellt wurden und analog der Lausitzer Überschiebung nach Norden abtauchen (reverse drag, umgekehrte bzw. antithetische Schleppung, Coubal et al. 2014, Abb. 6a). Daher ist das flache nördliche Einfallen der Schichten in dem ehemaligen Böschungsaufschluss (70°/20°), der Sandsteinklippe am Lazarus-Haus (24°/14°) sowie dem unweit entfernten Leichensteinbruch (20°/10°) als „Abbild“ der Lausitzer Überschiebung zu betrachten, für die hier vermutlich, vergleichbar zu Jiřetín pod Jedlovou (Coubal et al. 2014), eine flache Neigung von ca. 20° nach Norden anzunehmen ist. Die Lausitzer Überschiebung trennt die Sandsteinserien im Süden vom Lausitzer Block im Norden. Letzterer bildet das Cadomische Grundgebirge, welchem unter anderem eine Vielzahl granitoider Gesteinstypen mit überwiegend spätproterozoischen bis frühkambrischen Intrusionsaltern zwischen ca. 550 und 530 Ma

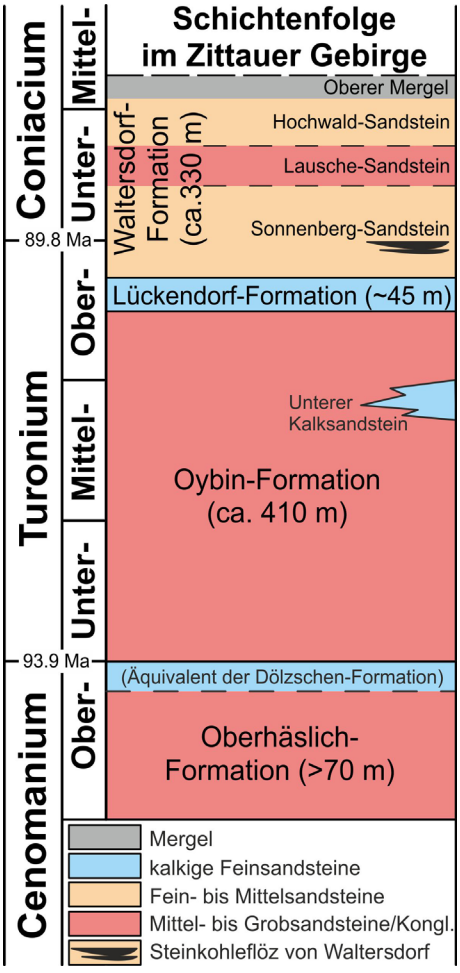


Abb. 6: Stratigraphisches Profilschema der Oberkreide-Ablagerungen des Zittauer Gebirges mit Position der Steinkohlefunde von Waltersdorf, Ortslage Neu Sorge. Verändert nach Wilmsen & Niebuhr (2014) und unter Verwendung von Tröger (1964), Voigt & Tröger (2007) in Niebuhr et al. (2007) und Voigt et al. (2013).

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

angehören (u. a. Linnemann 2008; Linnemann et al. 2010; Schust & Wasternack 2002). Vertreter dieses sogenannten Lausitzer Granitoidkomplexes sind im Gebiet von Waltersdorf der Zawidów-Granodiorit sowie der Rumburk-Granit (Steding 1998), wobei letztgenannter einem jüngeren, spätkambrischen bis frühordovizischen magmatischen Event zuzuordnen ist (515–480 Ma; Zieger et al. 2018 und Literatur darin). Der Lausitzer Block unterlag in der Oberkreide einer beträchtlichen Hebung von bis zu 3,5 km und diente damit insbesondere seit dem Mittelturon als Liefergebiet der marinen Sedimente im nördlichen Sächsisch-Böhmischen Kreidebecken. Diese Hebung erfolgte entlang der Lausitzer Überschiebung, welche spätestens im mittleren Turon (ca. 92 Ma, Wilmsen & Niebuhr 2017) aktiviert wurde, und kulminierte zwischen 85 und 50 Ma (Lange et al. 2008; Coubal et al. 2015). Am sedimentären Aufbau des gegenwärtig erhaltenen Sandsteinpaketes, welches ursprünglich bis zu 4 km mächtig gewesen sein dürfte (Voigt 2009), war das heute anstehende granitoide Grundgebirge der Lausitz jedoch nicht (wesentlich) beteiligt, da es in der frühen Oberkreide noch von permischen bis unterkretazischen Sedimenten bedeckt war (Voigt 2009, Hofmann et al. 2018).

Der Kohlefundort befindet sich im südlichen Lausitzer Vulkanfeld, welches ein eigenständiges Verbreitungsgebiet weitestgehend abgetragener tertiärer Vulkane umfasst und sich über Ostsachsen, das südwestliche Niederschlesien (PL) sowie das nördliche Böhmen (CZ) ausdehnt (Büchner et al. 2015). Die vulkanischen Aktivitäten in dieser Region ereigneten sich zwischen dem Ende der späten Kreide und dem späten Miozän, kulminierten jedoch im frühen Oligozän (32–29 Ma). Damit einhergehend kam es zu lokalen Absenkungen im Grundgebirge des südlichen bis östlichen Lausitzer Blockes, wodurch die beiden großen oligo- bis miozänen Braunkohlesenken von Zittau und Berzdorf-Radomierzyce sowie Grabenstrukturen und kleinere isolierte Becken entstanden (Schulze 1995; Kasiński 2000; Veselý 2001; Tietz & Czaja 2004, 2010; Walther & Kvaček 2007; Lobst 2013). Der Intraplatten-Vulkanismus dieser Region war bimodal, was in einer petrographischen Bandbreite der vorkommenden Vulkangesteine von „primitiven“ basaltischen (Nephelinite, Basanite, Tephrite) bis hin zu geochemisch entwickelten Laven (Trachyte, Phonolithe) zum Ausdruck kommt (Büchner et al. 2015). Basaltischer Vulkanismus äußerte sich in der Entstehung von Maar-Diatrem-Vulkanen sowie Schlackenkegeln mit Lavaseen und -strömen, während trachytisch/phonolitische Schmelzen subvulkanische Kryptodome oder extrusive Lavadome bildeten (Suhr & Goth 2002; Tietz et al. 2011a, 2011b; Büchner & Tietz 2012; Tietz et al. 2017; Wenger et al. 2017). Physisch-vulkanologische Untersuchungen an Vulkanen des Lausitzer Gebirges deuten auf dessen neotektonische Hebung seit dem späten Frühpleistozän hin (~1,3 Ma), womit die Herausbildung des heutigen Gebirgsreliefs erst eingeleitet wurde (Wenger et al. 2017).

3 Bisherige Nachweise kohliger Bildungen in den Sandsteinen des Sächsisch-Böhmischen und des Nordsudetischen Kreidebeckens

Die bekannten Kohlevorkommen des Böhmischen Kreidebeckens beschränken sich fast ausschließlich auf dessen älteste Ablagerungen, das sog. Peruc-Member (Unter- bis Mittelcenoman, ca. 100–95 Ma, Herčík et al. 2003), welches den unteren Teil der Peruc-Korycany-Formation aufbaut. Das lithostratigraphische Äquivalent im sächsischen Beckenteil wird als Niederschöna-Formation bezeichnet, deren Ablagerungen in lokalen Senken angetroffen werden (Prescher 1957; Voigt 1998; Wilmsen & Niebuhr 2014). Es handelt sich dabei um überwiegend fluviatile bis ästuarine Bildungen, welche den Beginn der spät-kreidezeitlichen Sedimentation im Sächsisch-Böhmischen Kreidebecken markieren (Voigt 1998; Herčík et al. 2003; Uličný et al. 2009). Dabei dokumentieren sie einen fortschreitenden Meeresspiegelanstieg, welcher durch Anheben der Erosionsbasis ein rückläufiges Aufschottern in den Flussprofilen verursachte (Voigt 1998; Špičáková et al. 2014; Wilmsen & Niebuhr 2014). Die im Peruc-Member sporadisch auftretenden Kohleflöze erreichen eine Mächtigkeit von gewöhnlich nur einigen Dezimetern,

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

weshalb sie überwiegend während der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts in Südostböhmen und Nordwestmähren und meist nur kurzzeitig bzw. als Begleitprodukt beim Abbau von cenomanen Feuertonen (Schamotte-Erzeugung) gewonnen wurden (Pešek et al. 2014). Durch Bohrungen wurde das Peruc-Member auch in der Kreide des Lausitzer Gebirges (Lužické hory) und des nahen Umlandes nachgewiesen (Steiner 1978; Valečka 2015; Uličný et al. 2009), doch streichen diese Sedimente, denen Fusit (fossile Holzkohle) sowie inkohlte Holz- und Wurzelreste beigemengt sind, oberflächlich nicht aus.

Darüber hinaus konnte Andert (1911, 1929) im heutigen tschechischen Teil des Lausitzer Gebirges vielerorts kohlehaltige Sandsteine, Ton- und Sandmergel nachweisen, welche dem obertägig anstehenden Oberturon bis Unterconiac angehören. Nach Müller (1927, 1933) wurde im südlichen Gebirgsvorland vielerorts sogar versucht, fingerstarke Kohleflöze sowie Kohlelinsen aus oberturonen Tonmergeln zu erschließen. Durch Schürfgruben oder Bohrungen, wie in Křižany oder bei den Schwarzen Bergen (Černý vrch) nahe Velký Grunov, deren Bezeichnung auf farbgebende geringmächtige Kohleflöze in bituminösen Mergeln zurückgeht, stieß man jedoch keinesfalls auf abbauwürdige Mengen. Auch im Oberturon des Sonnenberg-Sandsteins vom Gebirgspass zwischen Walterdorf und Dolní Světlá, 1,5 km südsüdöstlich von Neu Sorge, ließen sich durch die Bohrung *4640_C* stellenweise zwischengelagerte kohlige Tone bis Kohleflöze dokumentieren (Nádaskay et al. 2017). Rapprich & Nádaskay (2017) beschrieben aus einem weiteren Bohrprofil (*4650_X*) nahe Nová Huť Sand- bis Siltsteine des Unterconiacs, welche aufgrund stark erhöhter Anteile feinstverteilter organischer Substanz dunkelgrau bis schwarz erscheinen. Des Weiteren stieß Andert (1928) in den stark kohlehaltigen, sandigen Mergeln des unteren Coniacs, die beim Bau der Talsperre von Horní Chřibská (Oberkreibitz), 8,7 km westsüdwestlich von Neu Sorge, aufgeschlossen waren, auf mitunter mehrere Zentimeter große, flache Kohlegerölle. Ohne diese genauer zu untersuchen, legte sich der Autor auf deren prätertiäres Alter fest und vermutete, dass es sich hierbei um kreidezeitliche, re-sedimentierte Kohlen handeln könnte. Erst Petrascheck (1936) bearbeitete daraufhin die Geröllkohlen der Oberkreibitzer Talsperre eingehender und schlussfolgerte, dass hier Klasten vorliegen, welche aus cenomanen Sedimenten vom Südrand des nahen Lausitzer Blockes umgelagert wurden, als dieser durch Hebung entlang der Lausitzer Überschiebung einer starken Abtragung unterlag (siehe Kap. 2). Schließlich beschrieben Nádaskay & Uličný (2014) aus einem Steinbruchprofil östlich von Česká Kamenice, ca. 16 km südwestlich von Neu Sorge, tonig-schluffige Sandsteine des Coniacs, welche zahlreiche, max. 3–4 cm große, Holzkohlefragmente führen. Diese Sandsteine deutete man als umgelagerte Sedimente einer Deltaebene, die während einer verzögerten/stagnierenden Transgressionsphase wiederaufgearbeitet und küstennah resedimentiert wurden (Nádaskay 2013).

Nördlich der Lausitzer Insel, die zur späten Kreidezeit das Sächsisch-Böhmische Meeresbecken vom Schlesischen trennte, sind ebenso kohlige Bildungen aus etwas jüngeren Oberkreideschichten bekannt (z. B. Sachs 1906 mit zahlreichen Literaturangaben darin). Scupin (1910) beschrieb diese Vorkommen detailliert als wenige Zentimeter bis maximal 52 cm mächtige und schnell auskeilende Braunkohlenflöze, die im 19. Jahrhundert auch Gegenstand von Bergbau in der Löwenberger Mulde, ca. 65–75 km nordöstlich von Neu Sorge waren. Die auch als Stein- oder Pechkohlen beschriebenen Vorkommen treten zusammen mit Toneinschaltungen im Sandstein, dem Schlesischen Überquader des Nordsudetischen Beckens (Untersanton, Ehling 1998, Abb. 3) auf. Scupin (1910) interpretierte die Kohlen als allochthone Bildung infolge einer sedimentären Umlagerung von festländischem Pflanzenmaterial und Torflagern in einem aussüßenden Meeresbecken, da hier auch massenhaft Brackwassermuscheln auftreten. Eine autochthone Bildung der Kohlen an Ort und Stelle lehnte er wegen der Sedimentgefüge (z. B. Kohle mit Sand und Kies verunreinigt), der Sedimentologie (z. B. durch das Auftreten zusammen mit umgelagerten Kaolintonen vom Festland) und fehlender in situ-Wurzeln oder aufrechtstehender Baumstümpfe ab. Dagegen wurden zahlreiche Treibhölzer beobachtet, die z. T. auch verkohlt waren und eine ansehnliche Länge aufwiesen.

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

4 Makrolithotypen und Fazies

4.1 Makrolithotypen (MLT)

Die 1988 geborgenen Gesteinsproben wurden in fünf Makrolithotypen (MLT) unterteilt. Dabei wurde zunächst mit der Lupe vorsondiert und die Beobachtungen anschließend unter dem Stereomikroskop präzisiert (s. Abb. 7). Für MLT-05 wurde mittels Polarisationsmikroskop ein Dünnschliff petrographisch näher untersucht.

MLT-01: **Allochthone Steinkohle**
(Abb. 7a/b)

Beschreibung: MLT-01 umfasst eine linsenartige Schicht bis 10 cm Mächtigkeit, bestehend aus ca. 50 % organischen Anteilen und 30 % detritischem Quarz mit Korngrößen zwischen 0,1 und 0,2 mm (z. T. bis 1,2 mm). Die kohligen Partikel sind zu feinkörnigen, annähernd kugelförmigen oder ellipsoiden (Rodlets) – teils auch kantigen – Aggregaten mit einer äußerst unregelmäßig ausgebildeten Oberfläche und partiell auffälligem Glanz verbacken. Selten erreichen einzelne Aggregate Durchmesser > 2 mm. Das kohlige Material ist mit Quarzsand vermengt und dunkelgrau bis schwarz („schmutzig“) gefärbt. Die stets wasserklaren Quarze sind kantig bis splittrig, teils gerundet und gelegentlich als Doppelpyramiden ausgebildet. Der Quarzsand bildet auch dünne Einschaltungen in Form von asymmetrischen Sandlinsen, Flasern und Laminen, letztere auch als Einkornlagen. Einzelne Sandlinsen zeigen kleindimensionale Rippelforesets und klettern übereinander. Eine Durchwühlung (Bioturbation) ist an gestörten Laminen und runden, mit Quarzsand gefüllten, Gängen (< 10 mm im Durchmesser) erkennbar.

Interpretation: Der Habitus des MLT-01 ist nicht mit dem einer kompakt-konsolidierten Flözbildung vergleichbar. Das makroskopische Erscheinungsbild der Ablagerung steht eindeutig für allochthones Material, welches sich durch Zusammenschwemmung von Pflanzenhäckseln und Sand in flachen Rinnen bildete; strömendes Wasser ist dabei durch die asymmetrischen Rippel belegt. Die Wechselschichtung Sand/organisches Material belegt unterschiedliche Energieniveaus, da Sand, wassergesättigte Pflanzenhäcksel und Schlick bei gleichzeitiger Sedimentation nacheinander in dieser Reihenfolge abgesetzt werden (Reineck 1984: 114). Damit können Wechselschichten aus Sand und Pflanzenhäcksel entstehen, und aus Strömungsrippeln aufgebaute Linsen- und Flaserschichtung spricht bei MLT-01 eindeutig für tidalen Einfluss (Reineck & Wunderlich 1968; Reineck 1972, 1984; Reineck & Singh 1980). Auch die Bioturbation belegt eher (randlich) marine, als rein fluviatile Bedingungen.

Darüber hinaus zeigt sich, dass die untersuchte Kohle durch ein thermisches Ereignis beeinflusst ist. Belegt wird dies im Makrobefund durch den „gefrittet-stückigen“ Habitus der organischen Substanz, d. h. eine rasche Überprägung im Hochtemperaturbereich, welche mit rein versenkungsbedingter Inkohlung nicht erklärbar ist.

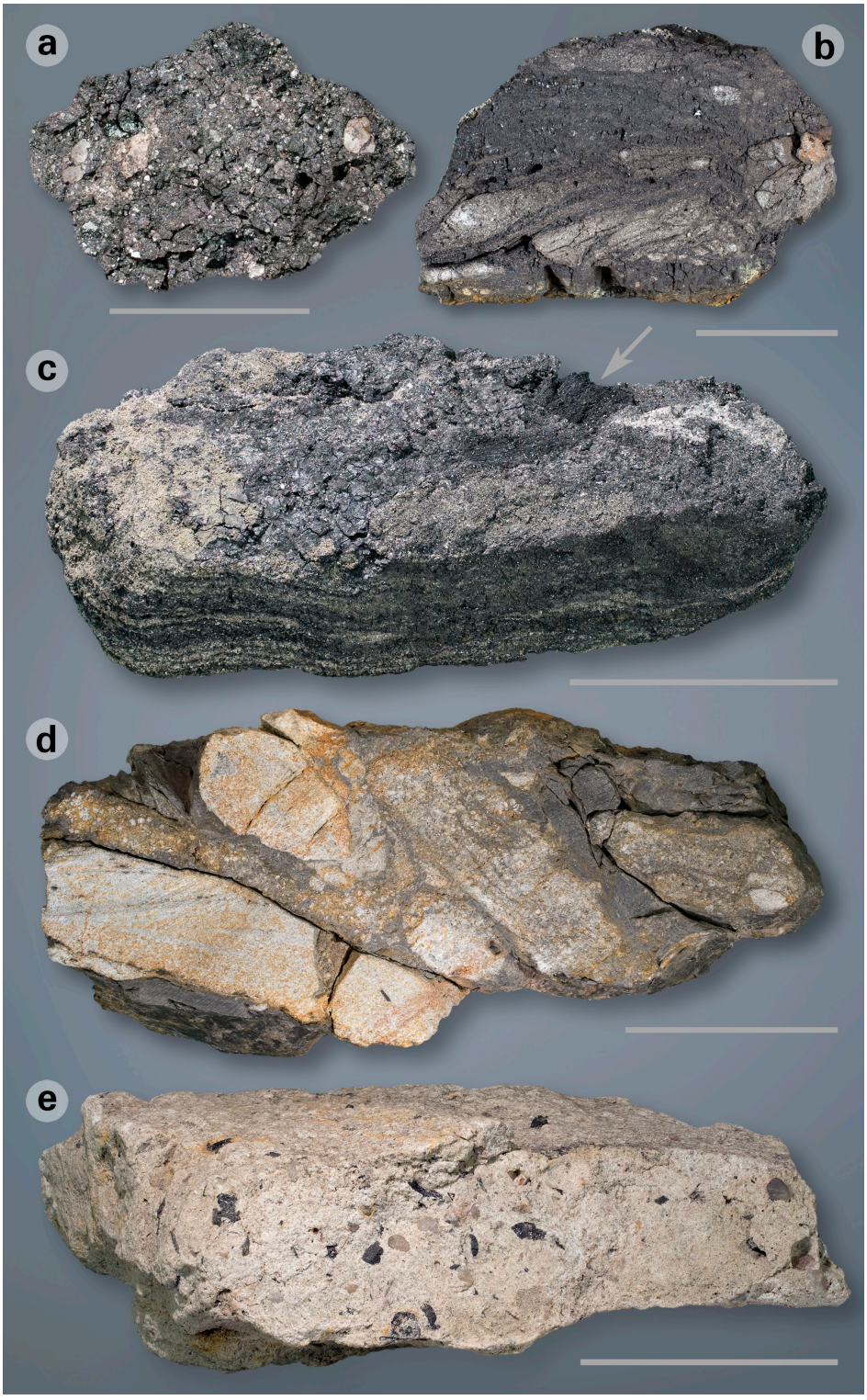
Zusätzlich hierzu wurden Proben des MLT-01 mikropetrographisch und palynologisch untersucht. Die Ergebnisse sind in Kap. 5 und 6 dargestellt.

MLT-02: **Laminierter Sand-Kohlestein**
(Abb. 7c)

Beschreibung: Bei MLT-02 handelt es sich um zumeist laminierte Wechsellagerungen von fein- bis mittelkörnigem Sandstein und inkohlten Pflanzenhäckseln, letztere Lagen weisen einen Quarzgehalt von 30–70 %, häufig um 50 % auf. Die mehr kohligen Lagen sind dunkel-, die mehr sandigen mittelgrau gefärbt. Die Übergänge zu MLT-01 und MLT-03 sind fließend. Die Sedimentstrukturen in MLT-02 ähneln ebenfalls denen aus MLT-01 mit Linsen-, Flaser- und asymmetrischer Rippelschichtung. Dazu kommt eine deutliche Bioturbation, sichtbar an gestörten Sedimentstrukturen und runden Gängen mit Durchmessern > 10 mm.

Interpretation: Grundsätzlich unterscheidet sich MLT-02 nicht von MLT-01, die Fazies ist lediglich stärker sanddominiert, d.h. etwas höher energetisch. Sedimentstrukturen wie die aus Sand/Pflanzenhäcksel aufgebaute Wechselschichtung mit Linsen und Flasern sowie die starke Bioturbation sprechen weiterhin für einen tidal beeinflussten Flachwasserbereich mit starkem terrigenem Eintrag (Reineck 1984). Die rundlichen Gänge lassen sich grabenden Crustaceen aus der Gruppe der Zehnfußkrebse zuordnen, deren Spuren im fossilen Bericht der sächsischen flachmarinen Kreide sehr reichhaltig sind (s. Niebuhr & Wilmsen 2016b).

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627



© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

MLT-03: **Sandstein mit kohlig-tonigen Siltsteineinschaltungen** (Abb. 7 d)

Beschreibung: Bei MLT-03 handelt es sich um überwiegend grobkörnige, strukturell unreife, bräunliche Sandsteine mit einzelnen, eingesprengten fein- bis mittelkiesgroßen Quarzgeröllen (meist 2–6 mm, z. T. bis 15 mm). Die Kornverteilung ist sehr inhomogen, z. T. sind Rippelforesets erkennbar. Die Sandsteine sind von grauen, kohlig-tonigen Siltsteinlagen durchzogen, was ein heterolithisches Gefüge bedingt. Dieses ist durch starke Bioturbation gestört, sodass oft eine Verwickelung der unterschiedlichen Lagen und eine Durchmischung der Korngrößen stattgefunden haben. Neben horizontalen Spreitenbauten kommen Krebsbauten mit mehreren Zentimetern Durchmesser vor, die durch Kompaktion der Sedimente z. T. ovalen Umriss haben. Aufgrund des Vorhandenseins einer knotigen Wandung können diese Gänge teilweise der Spurengattung *Ophiomorpha* zugeordnet werden. Manche Gänge sind mit sehr grobem Sediment verfüllt und weisen zudem eine normale Gradierung auf. Das komplexe heterolitisch-bioturbate Gefüge in MLT-03 ist später zum Teil noch tektonisch überprägt worden, möglicherweise durch die Nähe der Fundstelle zur Lausitzer Überschiebung. Allerdings sei darauf hingewiesen, dass antithetische Abscherflächen in noch weichen, wechselgeschichteten Sedimenten auch beim tidal bedingten Trockenfallen in Prielrinnen vorkommen und ähnliche Strukturen somit auch synsedimentäre Ursachen haben können (Reineck 1984: 58, Abb. 48).

Interpretation: Das heterolithische, bioturbate Gefüge vom MLT-03 indiziert einen tidal beeinflussten Ablagerungsraum mit wechselndem Energieniveau und starker Durchwühlung durch endobenthische Organismen (Reineck & Singh 1980; Reineck 1984). Die grobe Korngröße in den sandigen Lagen zeigt ein sehr nahes Liefergebiet an. Die grob- und teilweise gradiert-verfüllten Krebsbauten können als Röhrentempestite („*tubular tempestites*“ sensu Tedesco & Wanless 1991) gedeutet werden und weisen somit auf Sturmereignisse hin. Röhrentempestite sind in den Ablagerungen der Elbtalkreide weit verbreitet (Voigt 1994, 2011; Niebuhr & Wilmsen 2016b).

Eine Probe des MLT-03 wurde palynologisch analysiert. Die Ergebnisse hierzu sind in Kap. 6 dargestellt.

MLT-04: **Feinsandstein mit Fusit-Detritus** (Abb. 7 e)

Beschreibung: Bei MLT-04 handelt es sich um hellgraue, fein- bis grobkörnige quarzreiche Sandsteine mit eingesprengten Quarz- und Kohlegeröllen (Fusit-Fragmente). Das Überkorn gehört überwiegend der Feinkiesfraktion an, kann aber > 10 mm erreichen. Der Quarz ist meist gut gerundet, die Fusitbrocken sind dagegen häufig angular. Das inhomogene Gefüge entsteht auch hier durch Bioturbation. Große Krebsbauten sind z. T. anhand der ausgewitterten Füllung noch erkennbar. Eine röhrenförmige Struktur mit wenigen Millimetern Durchmesser kann als Serpulide gedeutet werden.

Interpretation: Auch bei MLT-04 handelt es sich um ein marines Sediment, kenntlich anhand der charakteristischen Bioturbation und der Serpulidenröhre. Die grobe maximale Korngröße indiziert die Küstennähe, das weitgehende Fehlen der Feinkornfraktion eine hohe Wasserenergie.

Weitere Sandsteinproben: Für den lithostratigraphischen Vergleich wurden noch weitere Sandsteinproben von drei Lokalitäten untersucht. Die Proben stammen von den noch heute zugänglichen Felsklippen unmittelbar nordöstlich des Lazarus-Hauses (ca. 30 m nordwestlich der Böschung vom August 1988, s. Abb. 2), aus dem auflässigen Steinbruch Rote Wand,

← Abb. 7: Die Makrolithotypen aus der Oberkreide von Neu Sorge, Hangböschung Lazarus-Haus, gesammelt im August 1988 von W. Lange: a – MLT-01: Allochthone Steinkohle (Rollkohle), verunreinigt mit isolierten und nestartig auftretenden Quarzkörnern (weiß), b – MLT-01: Fettkohle mit Sandlinsen, diese z. T. mit kleindimensionalen Rippelforesets (unten Mitte), c – MLT-02: Laminierter Sand-Kohlestein, auf der Oberseite mit einem großen Fusinit-Klast (Pfeil), d – MLT-03: Stark bioturbater Sandstein mit kohlig-tonigen Siltsteineinlagerungen (dunkel). Der ovale Grabgang oben zeigt rechts unten Spreiten, die typisch für einige Spurenfossilien sind. Das abgebildete heterolitisch-bioturbate Gefüge ist später mutmaßlich noch tektonisch überprägt worden, e – MLT-04: Feinkörniger Sandstein mit Fusinit-Klasten (schwarz) und einzelnen größeren Quarzkörnern (hell- bis dunkelgrau) als Hinweis auf fossile Waldbrände und ein turbulentes Ablagerungsregime. Maßstabsbalken = 3 cm; a = 1 cm. Fotos: O. Tietz

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

der Typlokalität für den Sonnenberg-Sandstein (NW-Seite des Sonnenberges, 1,2 km südwestlich Neu Sorge) und vom obersten Bereich des auflässigen Wände-Steinbruchs mit anstehendem Lausche-Sandstein (N-Hang der Lausche, 650 m südlich Neu Sorge).

Der Sandstein vom Lazarus-Haus (1) ist feinkörnig (Körner meist 0,1–0,2 mm groß), homogen, gut sortiert und zeigt Bioturbation (Wühlgefüge und Grabgänge). Eine Schichtung ist selten erkennbar und der ursprünglich hellgraue Sandstein ist meist intensiv gelbbraun verfärbt und weist eine mittel- bis dickbankige Absonderung zwischen 0,3 m und 1,3 m Mächtigkeit auf. Ähnlich ist der Sandstein am Sonnenberg (2) ausgebildet. Hier fallen neben der Bioturbation (z. B. Grabgänge auf Schichtflächen) auch noch deutlich gröbere Körner auf, die meist nestartig auftreten und im Zusammenhang mit bioturbaten Gefügen stehen. Der Sandstein vom Nordhang der Lausche (3) ist dagegen signifikant gröber (Korngröße 0,3–0,8 mm, meist 0,4–0,6 mm). Es ist ein mittelgrauer, schwach grobkörniger Mittelsandstein, der kaum Feinkorn enthält. Bioturbation fehlt oder fällt aufgrund der guten Sortierung kaum auf. Die am Lausche-Nordhang anstehenden Sandsteine sind oft massig und mit Bankmächtigkeiten bis 8 m ausgebildet.

Der Vergleich bestätigt somit, neben den Lagerungsverhältnissen (s. Kap. 2), auch nach den lithologischen Merkmalen die Zugehörigkeit der Steinkohlefundstelle von Neu Sorge zum Sonnenberg-Sandstein. Die z. T. deutlich gröberen MLT-02 und MLT-03 (teilweise gröber durch nestartiges Überkorn, z. B. bei MLT-04!) müssen neben der Kohleführung als eine proximalere Fazies im Sonnenberg-Sandstein aufgefasst werden. Der hangende Lausche-Sandstein weicht davon durch seine homogene mittelkörnige (bis grobkörnige) Ausbildung und mächtigere Bankung deutlich ab.

MLT-05: **Phonolith** (Abb. 8)
Beschreibung: In den z. T. kohleführenden Sandstein intrudierte ein Magmakörper, der infolge seines reichen Fluidgehalts stark autometasomatisch alterierte und im Nachgang verwitterte (kaolinisierte).

Petrographisch lässt sich das vulkanische Gestein trotz dieser intensiven Überprägung als Phonolith bestimmen. Im Dünnschliff ist ein ausgeprägtes (trachytisches) Fließgefüge erkennbar, das durch die Einregelung kleiner Feldspatleisten deutlich wird (Abb. 8b). Als Phänokristalle treten im Wesentlichen Sanidine bzw. Na-Sanidine und Nepheline auf (Abb. 8a/b). Beide erreichen Größen von bis zu 2 mm. Vereinzelt sind auch Anorthoklase zu beobachten, die v. a. an ihrer charakteristischen Verzwilligung erkennbar sind. Die Matrix des Gesteins lässt sich lichtmikroskopisch nicht auflösen, da infolge der starken Alteration v. a. die feinkristallinen Bereiche in amorphe Phasen und Limonit umgewandelt sind. Letzterer verleiht dem Gestein auch eine intensiv orange Farbe.

Interpretation: Das hier aufgeschlossene Gestein ist in seiner petrographischen Ausbildung typisch für die Phonolithe des Lausitzer

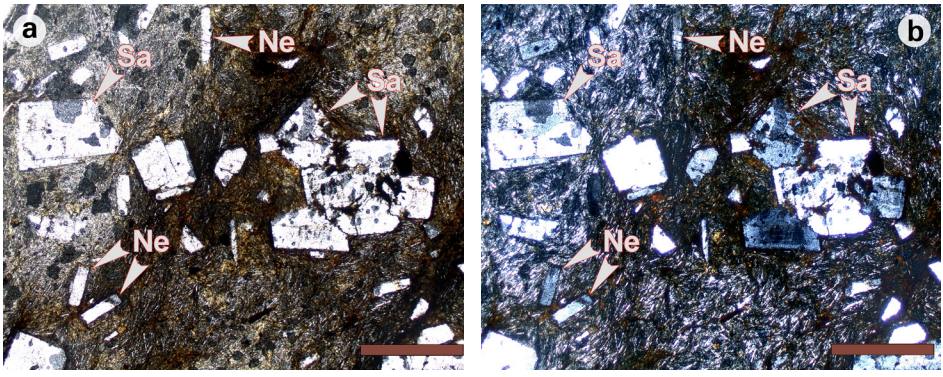


Abb. 8: Dünnschliffphotos von der Phonolithintrusion (MLT-05) in den kohleführenden Kreidesandsteinen aus der Böschung des heutigen Lazarus-Hauses in Neu Sorge. Für die Nomenklatur wichtige Phänokristalle sind gekennzeichnet: Sa = Sanidin, Ne = Nephelin. Aufnahme unter normal (a) und gekreuzt (b) polarisiertem Licht. Maßstäbe = 1 mm. Fotos: J. Büchner

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

Vulkanfeldes (Büchner et al. 2015). Die Veränderung des Gesteins durch die Fluide, die besonders in entwickelten Laven häufig auftreten, ist in vielen subvulkanischen Phonolithen und Trachyten zu beobachten. In effusiv an der Oberfläche austretenden Laven (bspw. an der Lausche, Wenger et al. 2017) sind diese Phänomene nur untergeordnet anzutreffen, da die Fluide (die Flüssig- und Gasphasen des Magmas) hier schnell aus dem erstarrenden Gestein entweichen. Das Auftreten von Nephelin und Anorthoklas (Na-reicher Alkalifeldspat) symbolisiert die chemische Fraktionierung der Magmen im Gebiet. Als Na-haltige Minerale entstehen sie in der Magmenentwicklung als letztes, da Natrium lange Zeit in der Schmelze verbleibt und erst als eines der letzten Elemente in Minerale und damit in Gesteine eingebaut wird. Der Phonolithkörper ist somit ein spät aufgestiegener Teil eines größeren Magmasystems, das sich in der Erdkruste entwickelt und differenziert hat. Die undifferenzierte Ausgangsschmelze selbst stammt, wie bei allen känozoischen Intraplatten-Vulkanen Mitteleuropas, aus dem Erdmantel und ist im weiteren Sinne alkalibasaltisch (Lustrino & Wilson 2007).

4.2 Fazies-Interpretation des sedimentären Ablagerungsraumes

Nach den vorliegenden Befunden der stratigraphischen Abfolge der Lithofazies anhand der photographischen Profildokumentation vom April 1988 waren die MLT-01 bis -04 in dem temporären Aufschluss in Waltersdorf-Neu Sorge in einem Dachbankzyklus angeordnet, d. h. es erfolgt von unten nach oben eine systematische Zunahme der Korngröße und Bankmächtigkeiten („*coarsening-/thickening-upward cycle*“). Dieser Zyklus (Abb. 2, Abschnitt April 1988) hatte eine Mächtigkeit von einigen Metern und setzte über recht feinkörnigen, bioturbaten Silt- und Feinsandsteinen ein, wovon kein Probenmaterial vorliegt. Am Übergang in die gröberen Lithofaziestypen (MLT-02/03) war die linsige Kohlelage (MLT-01) eingeschaltet. Die teilweise intensive Bioturbation und die heterolithische Fazies mit durch Strömungsrippeln gebildeter Flaser- und Linsenschichtung indizieren einen tidal-beeinflussten Ablagerungsraum mit gezeitenbedingt wechselnder Wasserenergie (Reineck 1972, 1984; Reineck & Singh 1980). An dieser Stelle sei hervorgehohen, dass „tidal-beeinflusst“ nicht notwendigerweise intertidal (also Wattenbereich) bedeutet, da tidale Einflüsse auch im flach-subtidalen Milieu manifestiert werden. Die nach oben zunehmende Korngröße und Bankmächtigkeit zeigt dabei eine Progradation der proximalen, sandig-dominierten über die feinkörnige Fazies an. Solche kleindimensionalen (= einige Meter mächtigen) Progradationszyklen entstehen häufig in den Buchten zwischen den Armen eines Deltas und sind als „*interdistributary-bay cycle*“ beschrieben worden (Elliot 1974; Bhattacharya 2006). Die feinkörnigen Ablagerungen entsprechen dabei dem Sediment im tieferen Bereich der Bucht, die Sande dem Buchtenrand bzw. den Uferwällen der Deltaarme. Die heterolithische Fazies (MLT-03), Tidalite mit Linsen- und Flaserschichtung (MLT-01 bis -03), die häufigen, zum Teil zu dm-mächtigen Bildungen zusammengeschwemmten Pflanzenhäcksel (MLT-01) und die starke Bioturbation in allen MLT passen sehr gut in das Gesamtbild einer tidal-beeinflussten Deltabucht-Abfolge (Coleman et al. 1964; Coleman & Gagliano 1965; Wright 1985; Bhattacharya 2006). Aufgrund der insgesamt geringen Dominanz tidaler Indikatoren scheinen dabei eher mikro- bis mesotidale Bedingungen vorgeherrscht zu haben. Diese Interpretation wird gestützt durch Ergebnisse einer Modellierung des tidalen Regimes im Böhmischen Kreidebecken (Mitchell et al. 2010). Sturmereignisse sind durch Röhrentempestite in MLT-03 belegt. Diese Delta-Interpretation fügt sich auch in den regionalgeologischen Rahmen sehr gut ein. So konnte durch Nádaskay & Uličný (2014) für die geringfügig jüngere Oberkreide (frühes bis mittleres Coniac) am Südwestrand des Lausitzer Gebirges ein Ablagerungssystem rekonstruiert werden, das von grobkörnigen Deltakörpern dominiert wird, welche vom tektonisch aktiven Beckenrand im Norden (Lausitzer Überschiebung, siehe Kap. 2) nach Süden progradierten. Diese Deltakörper werden für den Raum 11–15 km westlich bis südlich von Neu Sorge und mit einer maximalen Entfernung zur Lausitzer Überschiebung von 25 km beschrieben.

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

5 Kohlenpetrologie

5.1 Material und Methoden

Die kohlenpetrologischen Untersuchungen wurden an der direkt aus dem etwa 10 cm mächtigen Kohleschicht stammenden Kohlenprobe des MLT-01 durchgeführt (s. Kap. 4). Hierfür stand eine körnige Probe zur Verfügung. In Anlehnung an ISO 7404-2 (2009) wurde diese in luftgetrockneter Form ohne weitere Aufbereitung bei Zusatz von Epoxidharz unter Vakuumbedingungen in eine Ringform mit 40 mm Innendurchmesser eingegossen, die Oberfläche plan geschliffen und hochglanzpoliert.

Die Bestimmung der quantitativen Mikrokomponenten-Zusammensetzung („Maceralanalyse“) entsprach den Vorgaben der ISO 7404-3 (2009). Zum Einsatz kam das Großfeld-Auflicht-Forschungsmikroskop LEICA DM 4000 P mit senkrecht zur Präparat-Oberfläche ausgerichteter Hellfeldbeleuchtung und 500-facher Gesamtvergrößerung. Die Mikroskopie erfolgte im konventionellen Licht unter Verwendung von Immersionsöl mit einem nach ISO 7404-5 (2009) empfohlenen Brechungsindex von n = 1,518. Auf Arbeiten im fluoreszenzanregenden Licht wurde verzichtet, da die Probe bei UV- oder Breitband-Blau-Bestrahlung keinerlei Emissionen zeigte. Zur Differenzierung der kohligen Komponenten, thermisch beeinflusster Anteile und Mineralstoffe wurde ferner auf polarisiertes Licht zurückgegriffen. Die prozentualen Anteile der einzelnen Komponenten wurden durch Auszählen von insgesamt 500 Partikeln ermittelt. Um eine gleichmäßige Verteilung dieser Punkte über den gesamten Schliff zu gewährleisten, kam ein semi-automatischer Point-Counter der Fa. PELCON Materials & Testing ApS, Ballerup/Dänemark, zum Einsatz. Dieser reguliert die Schrittweite automatisch, während der Zeilenabstand in Abhängigkeit von der Partikellagerung manuell angepasst wurde (0,5 mm Schrittweite, 3,0 mm Zeilenabstand). Für die photographische Dokumentation stand eine Farbkamera vom Typ LEICA DFC 295 zur Verfügung.

Das bereits erwähnte Großfeld-Forschungsmikroskop LEICA DM 4000 P, gekoppelt mit dem Spektrometer-System der Firma A.S. & Co. GmbH, München, diente ebenfalls zur Bestimmung des mittleren Reflexionsvermögens (R_m). Das System stellt eine fest montierte Einheit aus einem Photospektrometer der Carl Zeiss AG, Oberkochen, und einer Steuereinheit für den direkt aufgesetzten Photomultiplier-Messkopf (CZ-CCD Sensor) dar. Darüber hinaus verfügt das Mikroskop über eine variable Leuchtfeldblende, zur Abschottung des Messflecks gegenüber diffusem Umgebungslicht. Die Messung wird durch die Software SpectraVision (A.S. & Co. GmbH, München) gesteuert. Hierzu zählt die selbstständige Optimierung der Gerätekombination auf die vorherrschenden Helligkeitsverhältnisse bzw. Intensitätswerte des Präparats, sowie die eigenständige Kompensation des systemeigenen Dunkelstroms verbunden mit einer digitalen Unterdrückung des elektronischen „Rauschens“. Die Kalibrierung des Systems erfolgte unter Einsatz der beiden Reflexions-Referenzmaterialien (Fa. Klein & Becker GmbH & Co. KG, Idar-Oberstein) Yttrium-Aluminium-Granat (R_s = 0,901 % in Öl) und Gadolinium-Gallium-Granat (R_s = 1,725 % in Öl). Im Anschluss daran wurden 100 verschiedene, gleichmäßig über den gesamten Schliff verteilte Vitrinitpartikel ausgewählt. Normgerecht erfolgte die Reflexionsmessung an thermisch unveränderten Collotelinit-Maceralen. Für eine vergleichende Gegenüberstellung wurden zudem einzelne Thermo-Vitrinite (Abgrenzungskriterien siehe Abschnitt 5.2) hinsichtlich ihres Reflexionsvermögens untersucht. Die mittlere Reflektanz der beiden Vitrinit-Spezies (thermisch unbeeinflusst/überprägt) berechnete sich jeweils als arithmetisches Mittel.

5.2 Mikropetrographischer Befund

Die Maceralanalyse zeigt eine deutliche Dominanz des Vitrinits (Tab. 1). Dieser ist zum Teil als Telinit mit erkennbarer Holz-Textur und zum Teil als massiger Collinit ausgebildet (Abb. 9a). Liptinit-Macerale sind nicht zu beobachten. Häufigstes Inertinit-Maceral ist der Macrinit (Abb. 9d), während Funginit völlig fehlt, was auf eine Dichtetrennung während der syngenetischen Umlagerung des Materials hindeutet. Fusinit (bei Wald- oder Moorbränden im Torfstadium gebildete Holzkohle) und Semifusinit sind selten und stets splittrig ausgebildet (Abb. 9a/e). Hinsichtlich der minerali-

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

schen Bestandteile bestätigt sich das durch die makroskopische Untersuchung erwartete Bild. So besteht die Probe zu über 30 % aus Quarz (Abb. 9f).

Besonders auffällig sind Organik-stämmige Komponenten mit deutlichen Anzeichen einer thermischen Überprägung. Mikroskopisches Anzeichen hierfür ist die Ausbildung sogenannter „Thermo-Vitrinite". Diese besitzen Entgasungsblasen, welche auf ehemals in der vitrinitischen Matrix eingelagerte und durch thermische Umwandlung zersetzte Liptinite (Phytobitumina) zurückzuführen sind (Abb. 9 b/c). Darüber hinaus weisen sie gegenüber ihren unbeanspruchten Pendants einen geringfügig erhöhten Glanz sowie ein gesteigertes Reflexionsvermögen auf (Abb. 9a). In einigen Fällen zeigen die Thermo-Vitrinite bereits Anzeichen beginnender Entmischung und partieller Anisotropie, möglicherweise infolge der Entstehung erster Kohlenstoff-Kristallite (Abb. 9c). Beide Vitrinitformen, d.h. die thermisch veränderten und thermisch unbelasteten Vitrinite, sind sehr gut im mikroskopischen Bild zu unterscheiden. Die thermische Veränderung zeigt sich gegenüber den „Versenkungs-Vitriniten" anhand der deutlich erhöhten Reflektanz, der Entgasungsporen und dem veränderten Relief.

Auch der als frühes Produkt thermischer Reaktionen bereits während des Torfstadiums gebildete Macrinit (Abb. 9d/f) bzw. sein tropfenförmiges Analogon Micrinit zeigt deutlich erhöhte Reflexion. Hervorzuheben ist zudem die Existenz klar identifizierbarer Hydriersäume an der Peripherie einiger Macrinite (Abb. 9d). Dies steht als Hinweis für eine zusätzliche thermische Beeinflussung der bereits primär stofflich hocharomatisch strukturierten Macrinite durch kohlenwasserstofführende Fluida in einem postgenetischen Stadium, offenbar in der finalen Phase des anzunehmenden thermischen Ereignisses der Phonolithintrusion.

Ebenso finden sich in den der Organik beigemengten Mineralstoffen Anzeichen thermischer Beeinflussung: Quarz selbst erfährt zwar keinen stofflichen Umsatz, zeigt aber oft auffällige thermische Spannungseffekte in Form von Rissen, Mikroklüften (Abb. 9f) und beginnendem undulösen Auslöschen in der gekreuzten Polarisation. Letzteres ist allerdings mikrophotographisch nicht aussagekräftig abbildbar. Auch Pyrit und Markasit (FeS_2) sind nur in Grenzen stabil (Gryglewitz 1995; Gerschel 2016). Deren peripher ansetzender Umbau zu Pyrrhotin ($Fe_{1-x}S$) ist in der vorliegenden Probe eindeutig erkennbar, seine photographische Dokumentation erreicht jedoch ebenfalls Grenzen.

Für das mittlere Reflexionsvermögen der thermisch unveränderten Vitrinite wurde ein Wert von R_m = 1,301 % in Öl bestimmt (Abb. 10). Mit einem durchschnittlichen Wert von 3,084 % in Öl weisen die Thermo-Vitrinite eine deutlich gesteigerte Reflektanz auf.

5.3 Genetische Ableitungen

Der kohlenpetrologische Habitus der untersuchten Probe belegt eindeutig den allochthonen, zusammengeschwemmten Ursprung der geringmächtigen Kohleschichten von Waltersdorf (s. Kap. 4). Sie können daher aus genetischer Sicht als Rollkohle bezeichnet werden. Die darin enthaltenen Inertinit-Macerale Fusinit, Semifusinit und Macrinit/Inertinit belegen dabei syngenetische Wald- oder Moorbrände während der kreidezeitlichen Akkumulation der organischen Substanz.

Tab. 1: Maceral- und Mineralbestand der Kohleprobe (MLT-01).

Maceralgruppe	Maceral	Anteil [Vol.-%]	
Vitrinit	thermisch unbeansprucht	21,5	*53,8*
	Thermo-Vitrinit	32,3	
Liptinit			*0,0*
Inertinit	Fusinit/Semifusinit	3,2	*10,0*
	Macrinit/Micrinit	6,8	
Mineralstoffe	Ton	5,0	*36,2*
	Pyrit/Markasit	0,6	
	Quarz	30,6	

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

Anhand des Reflexionsvermögens der thermisch unbeeinflussten Vitrinite ist die Waltersdorfer Kohle infolge der rein versenkungsbedingten Inkohlung dem unteren Fettkohlenstadium (medium volatile bituminous) und damit einer hochinkohlten Steinkohle mit flüchtigen Bestandteilen zwischen 19 und 28 % zuzuordnen (Stach et al. 1982, Abb. 11). Kohlen dieser Reife finden sich in vielen Steinkohlenlagerstätten weltweit – unter anderem auch im Ruhrrevier – und gelten im Allgemeinen als hochwertige Kokskohlen. Aufgrund der sekundären Umlagerung des organischen Materials und der Vermischung mit hohen

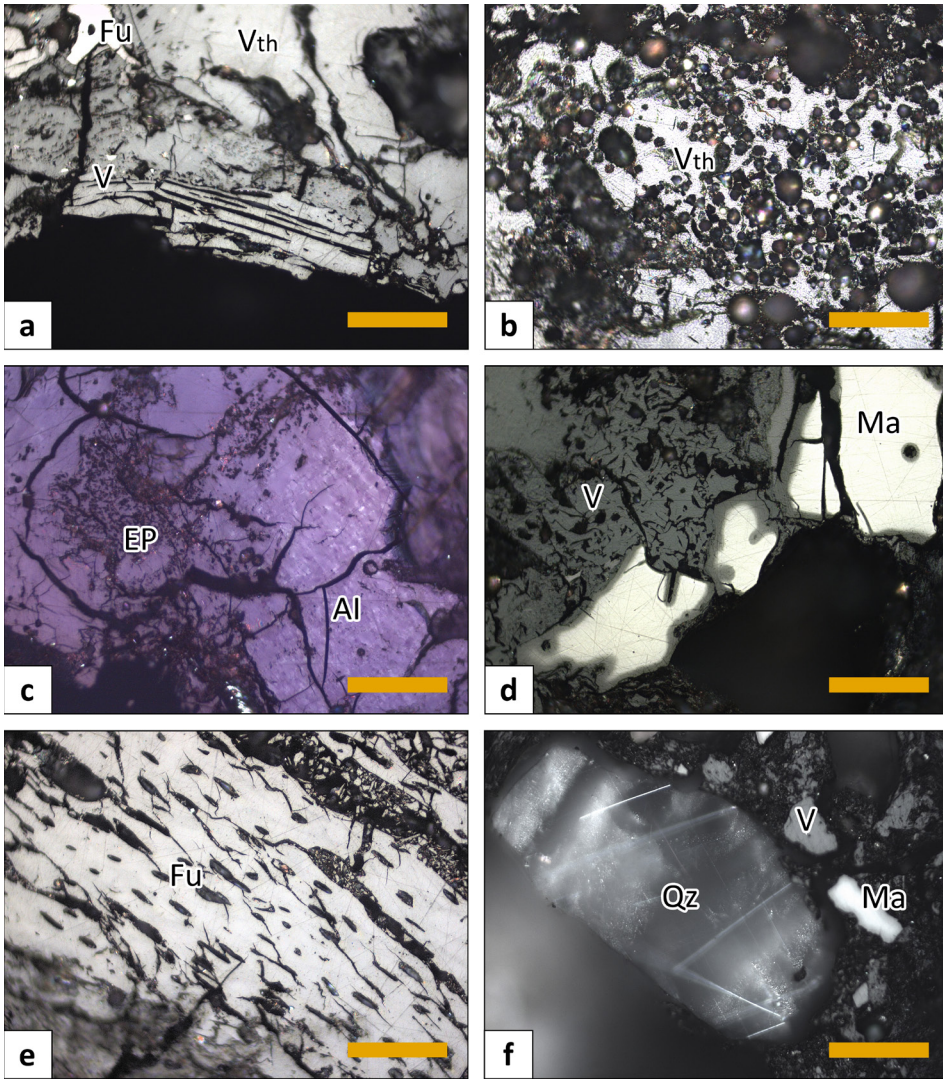


Abb. 9: Mikroskopische Anschliffphotos der Kohlenprobe (MLT-01) (500-fache Gesamtvergrößerung, Normallicht; c mit gekreuzten Nichols und λ-Plättchen). a – Vitrinit mit reliktartig erhaltener Holztextur (V) sowie weitestgehend homogener Thermo-Vitrinit höherer Reflektanz (V_{th}) und Fusinit (Fu) mit höchster Reflektanz, b – Thermo-Vitrinit (V_{th}) mit großen Entgasungsblasen, c – Thermo-Vitrinit mit kleinen Entgasungsporen (EP) und beginnender Bildung von Kohlenstoff-Kristalliten, bei gekreuzten Nicols identifizierbar durch ihre schwache optische Anisotropie (Al) in Form hellerer Interferenzfarben, d – Macrinit (Ma) mit deutlich erkennbaren peripheren Hydriersäumen, umgeben von thermisch unbeeinflusstem Vitrinit (V), e – Fusinit (Fu) mit Holztextur, f – Quarzkorn (Qz) mit Thermocracks, weiterhin thermisch unbeeinflusster Vitrinit (V) und Macrinit (Ma). Maßstabsbalken = 50 µm. Fotos: N. Volkmann

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

Quarzgehalten während der Kreidezeit sowie der geringen Mächtigkeit der Kohleschichten sind die Waltersdorfer Kohlen jedoch wirtschaftlich unbedeutsam.

Die Genesevorstellungen einer derartig heterogenen Kohle mit zwei Vitrinitpopulationen unterschiedlichen Reflexionsvermögens sind dabei nicht nur komplex, sondern stehen noch immer in der wissenschaftlichen Diskussion. Im Folgenden soll daher lediglich eine mögliche Theorie – basierend auf versenkungsbedingter Inkohlung und nachfolgender thermischer Überprägung durch eine Phonolithintrusion – zur Entstehung der Waltersdorfer Kohlen vorgestellt werden.

Durch die überlagernden Sedimentschichten und damit einhergehende Druck-Temperatur-Zunahme inkohlte das akkumulierte Pflanzenmaterial. Basierend auf den Reflexionsmessungen an den thermisch nicht veränderten Vitriniten lässt sich in erster Näherung auf die Größenordnung der maximalen Versenkung des Sedimentpaketes schließen. Hierfür gelten folgende Prämissen: Als Ausgangswert dient das Reflexionsvermögen rezenter Huminite von oberflächig anstehenden und somit nicht versenkungsbedingt inkohlten Torflagern, die als genetische Präkursoren der Steinkohlen-Vitrinite anzusehen sind. Der stofflichen Variabilität pflanzlicher Komponenten geschuldet, liegt dieses zwischen 0,25 und 0,30 % R_m in Öl. Hinsichtlich der R_m-Zunahme durch reine Versenkung gibt es verschiedene Ansätze. Jobmann et al. (2007) geben für das Niedersächsische Becken einen Wert von 0,20 % R_m pro Teufen-Kilometer an. Nach Erfahrungen der Freiberger Autoren dieser Arbeit bei der Bewertung von Erdöl-Erdgasbohrungen in Niedersachsen und Schleswig-Holstein erscheint eine Größenordnung von 0,25 bis 0,30 % R_m/km realistisch. Anhand des Reflexionsvermögens der thermisch nicht beeinflussten Vitrinite lässt sich demnach über unten stehende Formeln auf eine maximale Versenkung der Kreide-Kohle von 3,3 bis 4,2 km schließen.

$$\textit{max. Versenkung} = \frac{(\textit{Reflektanz der untersuchten Probe } R_m - \textit{Reflektanz rezenter Huminite})}{\textit{teufenabhängige Reflexionszunahme}}$$

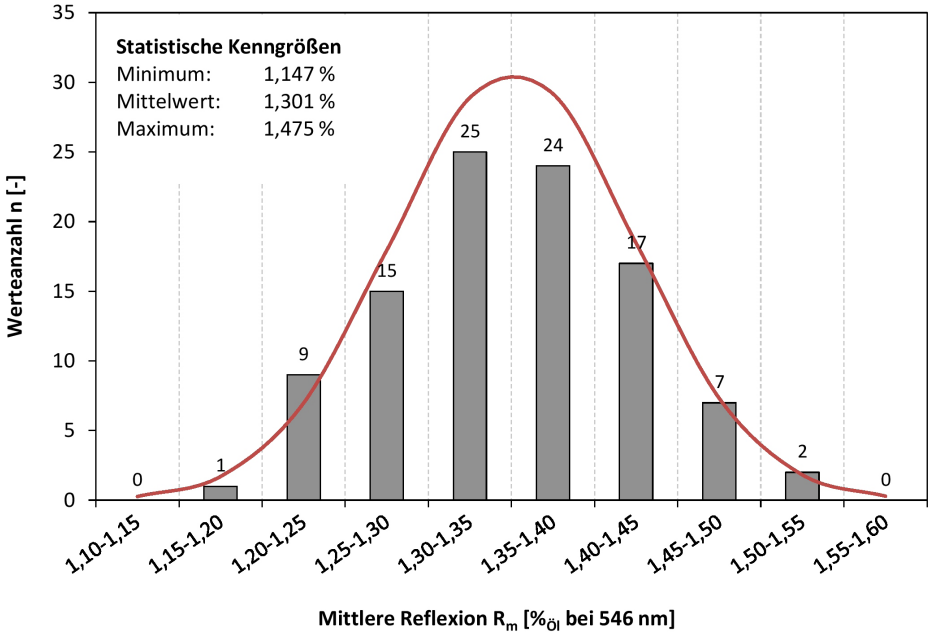


Abb. 10: Ergebnisse der Vitrinit-Reflexionsmessung an thermisch nicht überprägten Vitriniten der Kohlenprobe (MLT-01): Werte-Histogramm (Klassenbreite der graphischen Darstellung: 0,05 % mit Normalverteilungskurve nach Gauss und numerischer Statistik).

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

$$max.\ Versenkung = \frac{1{,}301\,\% - 0{,}30\,\%}{0{,}30\,\%/km} = 3{,}3\ km$$

$$max.\ Versenkung = \frac{1{,}301\,\% - 0{,}25\,\%}{0{,}25\,\%/km} = 4{,}2\ km$$

Anhand statistischer Regressionen nach Barker (1988) und Aizawa (1990) lässt sich zudem abschätzen, dass die Kohlen einer Temperatur von etwa 175°C ausgesetzt waren.

nach Barker (1988):
$T = 104 * \ln(R_m) + 148 = 104 * \ln(1{,}301\,\%) + 148 = 175{,}4\,°C$

nach Aizawa (1990):
$T = 90 * \ln(R_m) + 152 = 90 * \ln(1{,}301\,\%) + 152 = 175{,}7\,°C$

Durch den während des frühen Oligozäns intrudierenden Phonolithkörper (MLT-05) wurde die untersuchte Kohle nochmals thermisch überprägt. Hierbei wurde der Großteil der verbleibenden flüchtigen Bestandteile ausgetrieben, wodurch sich Entgasungsporen und -blasen bildeten und das zurückbleibende Kohlenstoffgerüst hocharomatisch reorganisierte. Nach Gerschel (2016) lässt sich daraus schließen, dass die chemische Struktur der Thermo-Vitrinite infolge der thermischen Überprägung vollständig aromatisch umgebildet ist und keinerlei aliphatische Verbindungen mehr zu finden sind. Aufgrund des höheren molekularen Ordnungsgrades weisen die Thermo-Vitrinite eine deutlich gesteigerte Reflektanz auf, die mit etwa 3,1 % in Öl dem oberen Anthrazitstadium zuzuordnen ist (Abb. 11). Darüber hinaus kam es infolge der Phonolithintrusion zur Bildung der thermisch überprägten Macrinite mit Hydriersäumen sowie zur vollständigen Austreibung der thermisch weniger stabilen, überwiegend strukturchemisch aliphatisch gebundenen Liptinit-Macerale, sodass diese in der vorliegenden Probe fehlen. Ungewöhnlich ist dabei das im Körneranschliff beobachtete Auftreten von Thermo-Vitriniten in

Kohlearten und Torf				Gesamt Wasser-gehalt (%)	Energie-inhalt af* (kJ/kg)	Flüchtige Bestand-teile (%) waf**	Vitrinit-Reflexion in Öl (%)
UN-ECE	USA (ASTM)	Deutschland (DIN)					
Peat	Peat	Torf		75	6700		
Ortho-Lignite	Lignite	WEICHBRAUNKOHLE					
Meta-Lignite		Mattbraunkohle	Hartbraun-kohle	35	16 500		0,3
Subbitum. Coal	Sub-bituminous Coal	Glanzbraunkohle		25	19 000		0,45
Bituminous Coal		Flammkohle		10	25 000	45	0,65
	High Volatile Bituminous Coal	Gasflammkohle	Steinkohle			40	0,75
		Gaskohle				35	1,0
	Medium Vol. Bitumin. Coal	Fettkohle			36 000	28	1,2
					Kokskohle		
	Low Vol. Bitumin. Coal	Eßkohle				19	1,6
						14	1,9
Anthracite	Semi-Anthracite	Magerkohle		3	36 000	10	2,2
	Anthracite	Anthrazit					

HARTKOHLE

* af = aschefrei, waf** = wasser-aschefrei

Abb. 11: Inkohlungsreihe der organischen Gesteine vom Torf bis zum Anthrazit (BGR 2009).

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

unmittelbarer Nachbarschaft zu unbeeinflussten Vitriniten (Abb. 9 f). Da für die Untersuchungen nur körniges Gut anstelle eines geologisch orientierten Gesteinspräparates zur Verfügung stand, sind die verursachenden Wirkmechanismen hierfür nicht klar zu belegen. Allerdings gilt diese Beobachtung als Hinweis auf eine selektive Inkohlung infolge differenzierter thermischer Beanspruchung der vitrinitischen Substanz innerhalb der geringmächtigen Kohlenschicht. So könnten die kristallinen Mineralstoffe (einzelne Quarzkörner oder ganze Quarzsandeinschaltungen), aber auch die eher aromatisch gebundenen Inertinit-Macerale der primären Ausgangssubstanz, aufgrund ihrer erhöhten Wärmeleitfähigkeit im mikroskopischen Maßstab thermisch fokussierend gewirkt haben. Darüber hinaus ist die natürliche Heterogenität der pflanzlichen Ausgangssubstanz, die bereits primär unterschiedliche Thermostabilitäten der Vitrinite bedingen könnte, in Betracht zu ziehen. Insbesondere in Kombination der beiden zuvor genannten Faktoren wären lokal erhöhte Inkohlungsgrade und somit gesteigerte Reflektanzen der Vitrinite erklärbar. Ähnliche Effekte wurden bei technischen Pyrolyse-Versuchen an Braunkohlen beobachtet (Gerschel 2016).

Hinsichtlich der Frage nach der Intensität der thermischen Überprägung lassen sich erste Rückschlüsse aus Pyrolyse- und Hydrierexperimenten (Volkmann 2000; Gerschel 2016) ableiten. Demnach beginnt die Instabilität pflanzlicher Bitumenträger bei etwa 350 °C. Oberhalb dieser Temperatur zersetzen sich die lipoiden Bestandteile, sodass diese zwischen 450 und 500 °C vollständig ausgetrieben sind. Allerdings handelt es sich hierbei lediglich um Orientierungswerte. Die reale Umsatztemperatur richtet sich im technischen Prozess und sicher auch in natürlichen Abläufen nach einer Reihe weiterer Parameter, wie stabilitätsbeeinflussende chemische Struktur der liptinitischen Komponenten, Zusammensetzung der Reaktor-Atmosphäre inkl. der herrschenden Druckbedingungen, Katalysator-Donator-Wechselwirkungen und dergleichen. Aufgrund der bereits einsetzenden Kohlenstoff-Kristallit-Bildung in einigen Thermo-Vitriniten ist jedoch davon auszugehen, dass die untersuchte Kohle Temperaturen über 550 °C ausgesetzt war.

Anhand der für die technische Pyrolyse entworfenen Modellrechnungen von Kalkreuth et al. (1986) und Gerschel (2016) kann in erster Näherung auf die maximale, vom Intrusivkörper verursachte Temperatur in der Kohlenschicht geschlossen werden. Beide Gleichungen bilden den natürlichen Prozess eines schnellen, thermischen Events wie dem einer Phonolithintrusion realitätsnäher ab, als die zuvor erwähnten Formeln von Barker (1988) und Aizawa (1990), welche von einem langsamen, versenkungsbedingten Temperaturanstieg ausgehen.

nach Kalkreuth et al. (1986):

$$T = 111 * R_m + 287 = 111 * 3{,}084\,\% + 287 = 629{,}3\ °C$$

nach Gerschel (2016):

$$T = 176{,}1 + 436{,}0 * R_m - 155{,}0 * R^2_m + 19{,}5 * R^3_m$$
$$= 176{,}1 + 436{,}0 * 3{,}084\,\% - 155{,}0 * (3{,}084\,\%)^2$$
$$+ 19{,}5 * (3{,}084\,\%)^3 = 618{,}5\ °C$$

Die Modellrechnungen ergeben übereinstimmend Temperaturen von etwa 624 °C in der Kohlenschicht durch die Phonolithintrusion. Dies entspricht einer zusätzlichen thermischen Beanspruchung der Thermo-Vitrinite gegenüber den unveränderten Vitriniten von etwa 450 K.

Zugleich deutet die Unvollständigkeit der Vitrinit- zu Thermo-Vitrinit-Umwandlung darauf hin, dass das thermische Ereignis in geologischen Dimensionen nur relativ kurzfristig gewirkt haben muss und dient somit als Beleg für eine vermutete, relativ schnelle Abkühlung der Phonolithintrusion.

Abschließend sei nochmals darauf hingewiesen, dass die voranstehenden theoretischen Überlegungen zur Genese der Waltersdorfer Kohlen zwar sämtliche beobachteten petrographisch-habituellen Phänomene erklären, diese jedoch nicht restlos aufklären können. So ist bislang nicht hinreichend zu begründen, wie bei einer geringmächtigen Kohle (~ 10 cm) derartig hohe Reflexionsunterschiede auf mikroskopisch engem Raum entstehen können bzw. warum die Kohle nicht einheitlich inkohlt ist. Da die kohlenpetrographischen Untersuchungen nur auf einer einzelnen Probe basieren, können vorliegende Ausführungen allenfalls als eine Anregung für weitere Arbeiten dienen, die den aufgezeigten Fragen weiter nachgehen sollten. Dabei wäre auch zu prüfen, ob die Heterogenität der Kohle – wie hier angenom-

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

men – tatsächlich durch die Phonolithintrusion verursacht wurde oder doch auf verschiedenartiges Ausgangsmaterial zurückgeführt werden kann; in einem solchen Fall wären die über den Reflexionsgrad ermittelten Versenkungsteufen zwangsläufig zu überprüfen.

6 Palynologie und Biostratigraphie

6.1 Material und Methoden

Zwei der im Kapitel 4 beschriebenen Proben wurden palynologisch untersucht. Die Fundstelle und -situation zeigen die Abbildungen 2, 4 und 5. Vom dunkelgrauen bis bräunlichen, kohlig-tonigen Siltstein des MLT-03 stand ein etwa 40 g schweres und 6 × 3 × 2 cm großes Einzelstück zur Verfügung. Dieses wies eine flaserig-gebogene ruschelige Textur auf und stellte vermutlich eine größere, feinen Pflanzendetritus führende Siltlinse im grobkörnigen Sandstein des MLT-03 dar. Hierfür spricht, dass bei diesem Lithotyp ähnlich gefärbte und ausgebildete Siltlinsen auftreten, auch wenn sie hier mit maximal 1,5–4,0 cm Länge und 0,5 cm Mächtigkeit meist deutlich kleiner, vor allem aber flacher ausfallen. Darüber hinaus wurde körniges Gut der mit Quarzsand vermengten, schwarzen Fettkohle aus der ca. 10 cm mächtigen Kohlenschicht (MLT-01) biostratigraphisch analysiert. Hiervon wurden 127 g aufbereitet und analysiert.

Die palynologische Untersuchung der Proben wurde im Labor des Tschechischen Geologischen Dienstes in Prag mit konventionellen Laborverfahren unter Verwendung von HCl, HF, KOH, Acetolyse (Säurelösung) und HNO_3 vollzogen. Die Palynofazies wurde mittels Glycerin/Gelee-Präparaten unter Verwendung eines LEICA DM 2500 Lichtmikroskops und dem IM50-Programm untersucht. Aus jeder Probe wurden zehn Objektträgerpräparate hergestellt. Aufgrund des sehr seltenen Auftretens von Palynomorphen konnte das Siebverfahren nicht angewendet werden.

6.2 Palynologischer Befund

Aufgrund der Nähe zur Phonolithintrusion wurden die extrem seltenen Palynomorphen thermisch stark überprägt. Daher ist ihre Farbe in beiden Proben dunkelbraun bis schwarz (und nicht wie üblich hellgelb bis gelbbraun) und die Proben waren stark korrodiert (siehe Abb. 12a/b).

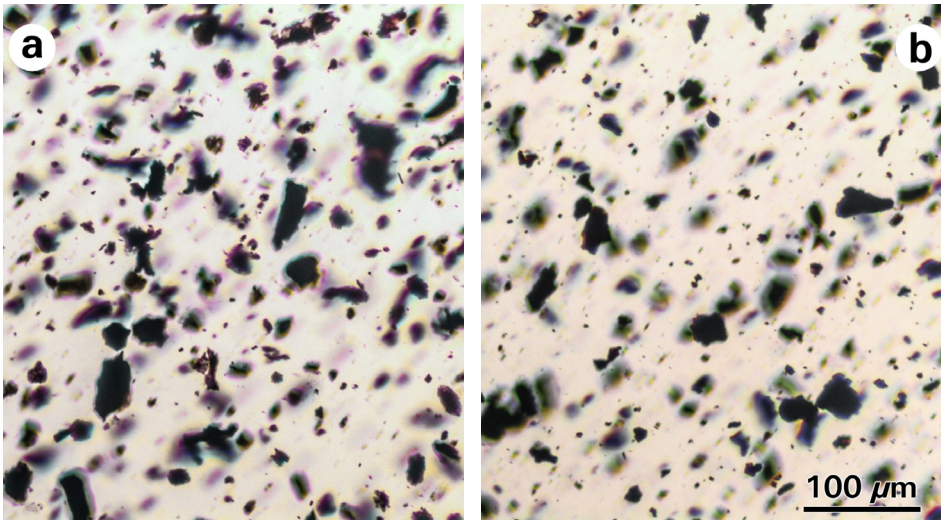


Abb. 12: Mikroskopbilder der Pollenproben des MLT-03 (a) und MLT-01 (b). a – Die Palynofazies der Siltsteinprobe (MLT-03) wird dominiert von Fusinit-Inertinitpartikeln, die weitgehend aus Holzresten und anderen Pflanzengeweben bestehen; schwarze Sporen und Pollen sind sehr selten. b – Dagegen besteht die Palynofazies der Kohlenprobe (MLT-01) ausschließlich aus feinen, vorwiegend gerundeten Inertinitpartikeln ohne Sporomorphen. Fotos: M. Svobodová

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

Die Palynofazies der Siltsteinprobe (MLT-03, Abb. 13) wird dominiert durch Fusinit-Inertinitpartikel, einige Koniferentracheiden mit eingefassten Grübchen, chitinöse Foraminiferen-Innentapeten sowie einzelne Bryophyten- und Pteridophytensporen, monoporate Hyphen chitinöser Pilzsporen, nichtmarine Algen und Gymnospermen-Pollenkörner. Es wurden keine Angiospermenpollen gefunden. Die Sporen gehören zur Moosgattung *Stereisporites* sp., Farnsporen der Familie Gleicheniaceae (*Gleicheniidites* cf. *senonicus* Ross), Cyatheaeceae (*Cyathidites* sp.) und Schizaeaceae (*Cicatricosisporites* sp.). Nur zwei Gymnospermen-Pollenkörner treten auf, und zwar inaperturate Pollen von *Taxodiaceaepollenites* sp. und bisaccate Pollen der Familie Caytoniaceae [*Vitreisporites pallidus* (Reissinger) Nilsson]. Nichtmarine Algen der Gattung *Chomotriletes* sp. kommen ebenfalls vor.

Die Probe der Fettkohle (MLT-01) hingegen lieferte keine Palynomorphen. Ihre Palynofazies wird dominiert durch feine, vorwiegend gerundete Inertinitpartikel ohne Sporomorphen (Abb. 12b). Diese Beobachtung steht damit in Einklang mit den kohlenpetrographischen Untersuchungsergebnissen.

6.3 Auswertung zur Biofazies und Biostratigraphie

Für eine fazielle und biostratigraphische Auswertung liefert die Siltsteinprobe (MLT-03) wichtige Hinweise. Danach zeigen die chitinösen Foraminiferen-Innentapeten zusammen mit nichtmarinem Plankton randlich marine Ablagerungsbedingungen mit variablem Salzgehalt an, die z. B. in einem Ästuar (Flussrinnen im Mündungstrichter mit randlichen Schlickflächen), aber auch in abgeschnürten Meeresbecken (Wattenmeer hinter Barriere-Inseln oder -Nehrungen) oder in Mündungsbereichen von Deltas (Buchtensysteme zwischen den fluviatil-dominierten Rinnen) angetroffen werden. Die palynologische Zusammensetzung mit vorherrschenden Sporen sowie einigen Gymnospermenpollen und Foraminiferen-Innentapeten weist auf ein Marschgebiet hin, denn aufgrund dieser ungünstigen Ablagerungsbedingungen unter temporärem Sauerstoffeinfluss blieben nur dickwandige Palynomorphe erhalten. Alle Palynomorphentaxa, die in dieser Probe gefunden wurden, repräsentieren typische kreidezeitliche Durchläuferformen. Da keine Angiospermenpollen auftreten, kann das Alter des MLT-03 nur auf die Kreidezeit eingegrenzt werden.

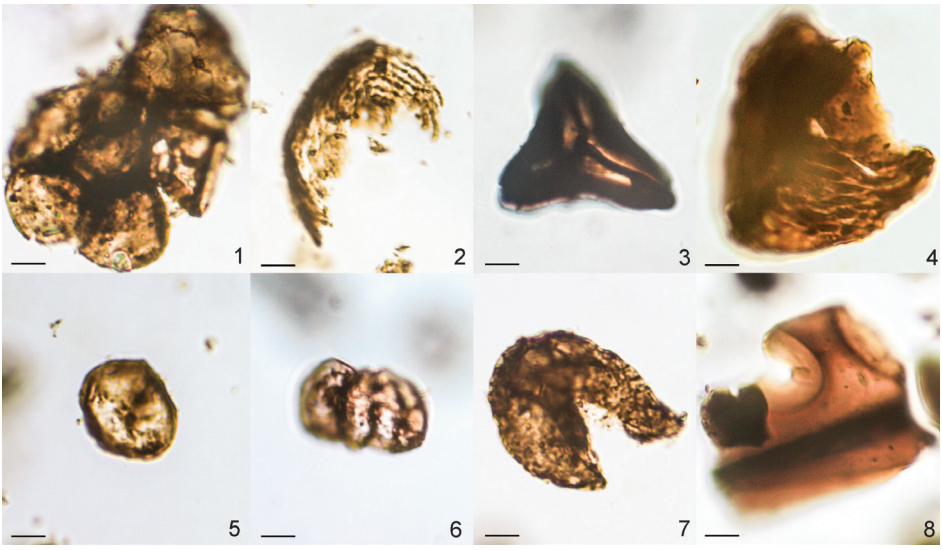


Abb. 13: Mikrofossilien aus der Siltsteinprobe des MLT-03. 1 – Chitinöse Innentapete einer planispiralen Foraminifere. 2 – *Chomotriletes* sp. 3 – *Gleicheniidites* cf. *senonicus* Ross. 4 – *Cicatricosisporites* sp. 5 – *Stereisporites* sp. 6 – *Vitreisporites pallidus* (Reissinger) Nilsson. 7 – *Taxodiaceaepollenites* sp. 8 – Koniferentracheide mit eingefassten Grübchen. Maßstabsbalken = 10 µm. Fotos: M. Svobodová

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

7 Diskussion und Schlussfolgerungen

Die vorliegende Arbeit war möglich, da vor 30 Jahren ein aufmerksamer Mineraliensammler das Steinkohlen-Vorkommen von Neu Sorge in der Gemeinde Großschönau entdeckte, dokumentierte und eine repräsentative Probenkollektion von diesem temporären Aufschluss sicherte. Ohne diese Vorarbeiten wüssten wir heute nicht, dass es in den Quadersandsteinen des Zittauer Gebirges derartige Kohlebildungen gibt. Bisher sind solche Funde nur vereinzelt aus dem benachbarten tschechischen Teil des Lausitzer Gebirges (Lužické hory) und recht häufig aus jüngeren Oberkreideablagerungen der Löwenberger Mulde in Schlesien bekannt (s. Kap. 3). Erst aufgrund der Schenkung der 1988 aufgesammelten Proben an das Senckenberg Museum für Naturkunde Görlitz im Jahre 2016 wurden diese Funde publik gemacht. Es kam zur Bearbeitung der Proben unter Einbeziehung der damaligen Fundumstände und der Geologie der Fundregion. Dabei wurden Geländebegehungen durchgeführt sowie an vier wissenschaftlichen Einrichtungen sedimentologische, petrologische, kohlenpetrographische und palynologische Untersuchungen vorgenommen. Die vielfältigen Ergebnisse lassen einige neue Erkenntnisse über die Geologie des Zittauer Gebirges zu, die nachfolgend kurz diskutiert und zusammengefasst werden sollen.

Die Pollenuntersuchung konnte den Nachweis erbringen, dass die Kohlefunde ein kreidezeitliches Alter besitzen. Dieses kann aufgrund des hier anstehenden Sonnenberg-Sandsteins auf den Grenzbereich spätes Turon/frühes Coniac (ca. 90 Ma) innerhalb der Oberkreide eingeengt werden. Lithologische Vergleiche mit dem Sonnenberg- und Lausche-Sandstein unterstützen diese stratigraphische Einstufung. Die auf palynologischem Wege bestätigte kreidezeitliche Altersstellung war für die Fundstelle nicht sicher, da bereits in ca. 50 m Entfernung die Lausitzer Überschiebung verläuft, entlang welcher andernorts wiederholt wurzellose tektonische Schollen mit Rotliegend- und Juraablagerungen auftreten. Auch wenn aus diesen Vorkommen bisher keine Steinkohleeinschaltungen bekannt sind, sollte eine solche Alterseinstufung nicht grundsätzlich ausgeschlossen und daher mit geprüft werden.

Die kohlenpetrographische Untersuchung erbrachte, dass es sich bei den Funden um allochthone, d. h. zusammengeschwemmte Kohlen handelt, was auch Palynologie und Lithofazies bestätigen. Ihre Entstehung erfolgte durch sekundäre Umlagerung bereits akkumulierter Torflager zu sogenannten Rollkohlen in einem randmarinen Bereich während der Kreidezeit. Diese terrestrisch-marine Verzahnung belegt die palynologische Siltsteinprobe (MLT-03) durch die Anwesenheit von Süßwasseralgen und Foraminiferen, wobei letztere immer einen marinen Einfluss anzeigen. Weiterhin treten im MLT-04 makroskopisch sowie in den Kohlen (MLT-01) auch mikroskopisch nachweisbare detritische Reste fossiler Holzkohlen (makroskopisch Fusit, mikroskopisch Fusinit/Semifusinit) auf, welche auf syngenetische Wald- und Moorbrände während der Bildung/Akkumulation der organischen Substanz hinweisen. Derartige Brände waren typisch für die gesamte Kreidezeit, was das massenhafte Auftreten fossiler Holzkohle in terrestrischen Kreidesedimenten weltweit zeigt (Brown et al. 2012). Von den 114 in Brown et al. (2012) aufgelisteten Fundstellen werden zehn für die Zeit Turon–Coniac angegeben, darunter auch zwei Fundstellen aus Tschechien (aus Südböhmen- und Nordmähren), jedoch keine aus Polen oder Deutschland.

Die sedimentologischen Faziesuntersuchungen konnten zeigen, dass es sich bei den kohligen Ablagerungen und den begleitenden Sandsteinen um Gezeiten-beeinflusste Deltabildungen handelt, mutmaßlich um eine Bucht zwischen mehreren Deltaflussarmen. Damit konnte in Waltersdorf erstmalig eine Flussmündung für die ehemalige Küste am unmittelbaren Südrand der Lausitzer Insel wahrscheinlich gemacht werden, die unweit nördlich der Kohlefundstelle entlang der Lausitzer Überschiebung angehoben wurde. Nach der Palynologie wären auch Ästuarbildungen denkbar, die beobachtete Kornvergröberung nach oben (Dachbankzyklus) indiziert aber eher Deltaablagerungen. Dies deckt sich auch mit Beobachtungen aus dem tschechischen Teil des Lausitzer Gebirges. Hier wurden etwa 11–24 km westlich bis südlich von Neu Sorge faziell und altersmäßig ähnliche Ablagerungen als Bildungen einer Deltaebene und -front beschrieben (Nádaskay 2013; Nádaskay & Uličný 2014).

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

Der im Aufschluss unter den kohleführenden Sandsteinen angetroffene Phonolith (MLT-05) bildet aufgrund der Lagerungsverhältnisse eine subvulkanische Intrusion, wahrscheinlich einen schichtparallelen Lagergang. Die Intrusion ist aufgrund ihres geringen Volumens schnell abgekühlt, sodass es weder zur Ausbildung einer subvulkanischen Fazies (wie z. B. eine gröber kristalline Grundmasse), noch zur vollständigen Alteration der Kohleschicht (Umbildung aller Vitrinite zu Thermo-Vitriniten) kam. Derartige subvulkanische Nachweise liegen für das Lausitzer Vulkanfeld bisher nur vereinzelt vor (z. B. Rapprich & Nádaskay 2017). In der Regel wurden Vulkane nachgewiesen, die an der Erdoberfläche entstanden und trotz ihres hohen Alters von ca. 30 Ma auch heute nicht vollständig abgetragen sind. (Büchner et al. 2015). Dies indiziert eine junge, neotektonische Hebung und Abtragung für den Lausitzer Block und das südlich angrenzende Lausitzer Gebirge (Tietz & Büchner 2015; Wenger et al. 2017).

Innerhalb der Kohleschicht weisen zahlreiche Thermo-Vitrinite auf die subvulkanische Intrusion und deren thermischen Einfluss hin. Auf Basis verfahrenstechnischer Versuchsreihen und deren kohlenpetrographischer Analyse wird die thermische Phonolith-Überprägung der Kohlen anhand ihres kohlenpetrographischen Befundes auf über 550 °C geschätzt. Die Temperatur von Phonolithschmelzen liegt nach Feldtemperaturmessungen am aktiven Erebus-Vulkan (Antarktis) zwischen 923 °C und ca. 1000 °C (Datenzusammenstellung in Moussallam et al. 2013). Ähnliche Temperaturen konnten auch durch Schmelzexperimente an Phonolithgesteinen desselben Vulkans für Tiefen von 0,7 km, 3,5 km und 7 km im Labor ermittelt werden (Moussallam et al. 2013). Für die thermische Überprägung der Kohlen von Neu Sorge wurden jedoch nur Maximaltemperaturen von etwa 624 °C in der Kohleschicht bestimmt. Dies bestätigt die Annahme einer sehr schnellen Abkühlung und Erstarrung der Phonolithintrusion. Als begünstigende Faktoren hierfür gelten das geringe Volumen und die sillförmige Geometrie des Intrusivkörpers sowie die aufgrund des hohen Quarzgehalts gesteigerte Wärmeleitfähigkeit der umgebenden Sandsteine.

Inkohlungsmessungen an Vitriniten kennzeichnen die Kohlen von Neu Sorge als Fettkohlen, was einem hohen Inkohlungsgrad entspricht. Nach den Reflexionsmessungen der thermisch unbelasteten Vitrinite kann eine maximale Versenkung der Kohle von 3,3–4,2 km kalkuliert werden. In Summe mit den hier heute noch erhaltenen ca. 600 m mächtigen Kreidesedimenten bedeutet dies für die Fundstelle eine ursprüngliche Kreidemächtigkeit von 3,9–4,8 km (s. Abb. 6). Bisher liegen für die Mächtigkeit der primären kreidezeitlichen Ablagerungen im weiteren Untersuchungsraum nur vage Angaben vor, die aus Spaltspuren-Abkühlungsaltern des Osterzgebirges abgeleitet wurden. Danach kalkuliert Voigt (2009) etwa 4,0 km für die gesamte Kreideablagerung im Elbsandsteingebirge. Kořínková et al. (2013) hingegen geben für die erodierten Sedimente über der Jizera-Formation (Mittel- und Oberturon) in der Böhmischen Schweiz und dem nordwestlichen Lausitzer Gebirge (Lužické hory) eine Mächtigkeit von 1,5 km an. Aus letzterem ergibt sich für die etwa 10–20 km westlich des Untersuchungsgebietes gelegene Kreideabfolge eine ursprüngliche Mächtigkeit von etwa 2,0 km. Diese Abschätzung deckt sich nicht mit den ermittelten Mächtigkeiten von Neu Sorge.

In dem Zusammenhang spielt noch die unmittelbare Nähe zur Lausitzer Überschiebung eventuell eine wichtige Rolle. Bei einem flachen Einfallen der Überschiebung nach Nord bis Nordost ziehen die zwischen 85 und 50 Mill. Jahren um ca. 3000–3500 m angehobenen Granitoide des Lausitzer Blocks (Lange et al. 2008) sehr flach über die Kohlefundstelle. Nach Voigt et al. (2006) erfolgten bruchhafte Bewegungen anhand der Untersuchungen an der vergleichbaren Harznordrandstörung seit dem späten Santon bis frühen Campan (84–82 Mill. Jahre) und damit einhergehend eine Exhumierung des Harzkristallins im Campan. Danach würde die Zeit nach der Kohlebildung von Waltersdorf (bei ca. 90 Mill. Jahre) noch für bedeutende Kreideablagerungen ausreichen, zumal nach den Spaltspurenuntersuchungen eine rapide Aufheizung und damit Absenkung der nordböhmischen Kreide südlich der Lausitzer Überschiebung für ca. 88 Mill. Jahre vor heute belegbar ist (Kořínková et al. 2013). Inwieweit also auch die tektonisch überschobenen grani-

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

toiden Gesteine an der Überdeckung der Waltersdorfer Kohle beteiligt waren, bleibt unklar und bedarf weiterer Untersuchungen, so z. B. anhand kohliger Sedimente, die außerhalb des Einflussbereiches der Lausitzer Überschiebung weiter südlich auftreten.

Dank

Besonderer Dank gilt Peter Suhr (Dresden), Thomas Voigt (Jena) und Jochen Rascher (Freiberg), die durch ihre Gutachten wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben. Die Finanzierung der palynologischen Studie von Marcela Svobodová erfolgte durch den Forschungsplan RVO67985831 des Instituts für Geologie der Tschechischen Akademie der Wissenschaften, wofür wir ebenfalls danken.

Literatur

Aizawa, J. (1990): Paleotemperatures from fluid inclusions and coal rank of carbonaceous material of the Tertiary formations in Northwest Kyushu, Japan. – Journal of Mineralogy, Petrology and Economic Geology **85**, 4: 145–154

Andert, H. (1911): Die Inoceramen des Kreibitz-Zittauer Sandsteingebirges. – In: Humboldt-Verein Ebersbach (Hrsg.): Festschrift zur Feier des 50jährigen Bestehens – Selbstverlag des Vereins; Ebersbach: 33–64

Andert, H. (1928): Die geologischen Verhältnisse der Oberkreibitzer Talsperre. Kreide, Basaltgänge, Verwerfungen. – Firgenwald - Vierteljahrsschrift für Geologie und Erdkunde der Sudetenländer **1**: 5–15

Andert, H. (1929): Die Kreideablagerungen zwischen Elbe und Jeschken II: Die nordböhmische Kreide zwischen Elbsandsteingebirge und Jeschken und das Zittauer Sandsteingebirge. – Abhandlungen der Preußischen Geologischen Landesanstalt Neue Folge, **117**: 1–227

Barker, C.E. (1988): Geothermics of petroleum systems: Implications of the stabilization of kerogen thermal maturation after a geologically brief heating duration at peak temperature. – U.S. Geological Survey Bulletin **1870**: 26–30

BGR (2009): Energierohstoffe 2009 - Reserven, Ressourcen, Verfügbarkeit. – Eigenverlag der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Hannover: 288 S.

Bhattacharya, J. P. (2006): Deltas. – In: Posamentier, H. W. & R. G. Walker (Hrsg.): Facies Models Revisited. – SEPM Society for Sedimentary Geology, Special Publication **84** (Tulsa): 237–292

Brown, S. A. E., A. C. Scott, I. .J. Glasspool & M.E. Collinson (2012): Cretaceous wildfires and their impact on the Earth system. – Cretaceous Research **36**: 162–190

Büchner, J. & O. Tietz (2012): Reconstruction of the Landeskrone scoria cone in the Lusatian volcanic field, eastern Germany – long-term degradation of volcanic edifices and implications for landscape evolution. – Geomorphology **151–152**: 175–187

Büchner, J., O. Tietz, L. Viereck, P. Suhr & M. Abratis (2015): Volcanology, geochemistry and age of the Lausitz Volcanic Field. – International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau) **104**, 8: 2057–2083

Coleman, J.M. & S.M. Gagliano (1965): Sedimentary structures: Mississippi River deltaic plain. – In: G.V. Middleton (Hrsg.): Primary sedimentary structures and their hydrodynamic interpretation. – Society of Economic Paleontologists and Mineralogists (SEPM), Special publication **12**: 133–148

Coleman, J. M., S. M. Gagliano, & J. E. Webb (1964): Minor sedimentary structures in a prograding distributary. – Marine Geology **1**: 240–258

Coubal, M., J. Adamovič, J. Málek & V. Prouza, (2014): Architecture of thrust faults with alongstrike variations in fault-plane dip: anatomy of the Lusatian fault, Bohemian massif. – Journal of Geosciences **59**: 183–208

Coubal, M., J. Málek, J. Adamovič & P. Štěpančíková (2015): Late Cretaceous and Cenozoic dynamics of the Bohemian massif inferred from the paleostress history of the Lusatian Fault Belt. – Journal of Geodynamics **87**: 26–49

Dittrich, P., D. Steding, E. Raithel, R. Hoffmann, N. Markmann & R. Hortenbach (1988): Vorratsberechnung: Braunkohlenerkundung Zittau 1988. – VEB Geologische Erforschung und Erkundung Freiberg [unveröff. Bericht]

Ehling, A. (1998): Die oberkretazischen Bausandsteine Schlesiens (Petrographie, Geochemie, Gesteinstechnische Eigenschaften, Verwitterung und Verwendung sowie Charakterisierung ihres

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

Kathodolumineszenz-Verhaltens). – Diss. Univ. Hannover; Selbstverlag Berlin: 131 S., 38 Abb., 28 Tab., 5 Anl.

Elliott, T. (1974): Interdistributary bay sequences and their genesis. – Sedimentology **21**: 611–622

Geoportal Sachsenatlas: http://geoportal.sachsen.de/cps/karte.html?showmap=true (Februar 2018)

Gerschel, H. (2016): Zur Mikropetrographie fester Prozessrückstände als verfahrenstechnisches Bewertungsinstrument, dargestellt am Beispiel der pyrolytischen Konversion alttertärer Weichbraunkohlen der Lagerstätte Schöningen (Helmstedter Revier). – Sierke Verlag; Göttingen: 236 S.

Gryglewicz, G. (1995): Sulfur transformations during pyrolysis of high sulfur Polish coking coal. – Fuel, **74** (3): 356–361. https://doi.org/10.1016/0016-2361(95)93467-R

Herčík, F., Z. Herrmann & J. Valečka (2003): Hydrogeology of the Bohemian Cretaceous Basin. – Czech Geological Survey; Prague: 115 S.

Hofmann, M., T. Voigt, L. Bittner, A. Gärtner, J. Zieger & U. Linnemann (2018): Reworked Middle Jurassic sandstones as a marker for Upper Cretaceous basin inversion in Central Europe – a case study for the U–Pb detrital zircon record of the Upper Cretaceous Schmilka section and their implication for the sedimentary cover of the Lausitz Block (Saxony, Germany). – International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau) **107**, 3: 913–932

ISO 7404-2 (2009): Methods for the petrographic analysis of bituminous coal and anthracite – Part 2: Methods of preparing coal samples

ISO 7404-3 (2009): Methods for the petrographic analysis of bituminous coal and anthracite – Part 3: Method of determining maceral group composition

ISO 7404-5 (2009): Methods for the petrographic analysis of bituminous coal and anthracite – Part 5: Method of determining microscopically the reflectance of vitrinite

Jobmann, M., P. Amelung, & L. Uhlig (2007): Berechnungen von Paläotemperaturen und Vitrinitreflexionen im Niedersächsischen Becken und die Anwendung dieser Methodik auf generische Endlager. – Technischer Bericht DBE Technology GmbH, BMWi FKZ 02E10086, 24 S.

Kalkreuth, W. D., D. Brouillard & C. Roy (1986): Optical and chemical characterization of solid residues obtained from vacuum pyrolysis of wood (Aspen Poplar). – Biomass **10**: 27–45

Kasiński, J.R. (2000): Geological atlas of the Tertiary lignite-bearing association in the Polish part of the Zittau Basin 1:50 000. – Polish Geological Institute; Warsaw

Kořínková, D., J. Adamovič, M. Svojtka & J. Filip (2013): Reconstruction of low time-temperature history of the crystalline blocks and sedimentary rocks along Lusatian Fault, Bohemian Massif. – 11th Meeting of the Central European Tectonic Studies Group, 24.4.–27.4. 2013, Geological and Geophysical Institute of Hungary; Várgesztes, Poster Abstract: 30–31 [http://library.gli.cas.cz/type.php?slnm=n116&r0=1&r1=1&r2=1&r3=1&r4=1&r5=1&r6=1]

Krentz, O. & K. Stanek (2015): Die Lausitzer Überschiebung zwischen Meißen und Jeschken – neue Aspekte. – Berichte der Naturforschenden Gesellschaft der Oberlausitz **23**: 123–137

Lange, J.-M., C. Tonk & G. A. Wagner (2008): Apatitspaltspurdaten zur postvariszischen thermotektonischen Entwicklung des sächsischen Grundgebirges – erste Ergebnisse. – Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften **159**, 1: 123–132

Lange, W. (2015a): Temporärer Aufschluß am Hoppeberg Waltersdorf. November 1987 bis März 1988 (Feldbucheintrag zu Aufschluß W1). – unpubl. Bericht, 2 S. mit 2 Fotos und einer Kartenkopie (TK10 mit Eintragungen)

Lange, W. (2015b): Aufschluß Baustelle Waltersdorf Neu Sorge 1988 (Feldbucheintrag zu Aufschluß W7). – unpubl. Bericht, 1 S. und 9 Fotos

Linnemann, U. (2008): Die Struktureinheiten des Saxothuringikums – In: Linnemann, U. (Hrsg.): Das Saxothuringikum – Abriss der präkambrischen und paläozoischen Geologie von Sachsen und Thüringen. – 2. Auflage, Staatliche Naturhistorische Sammlungen Dresden, Museum für Mineralogie und Geologie; Dresden: 23–32

Linnemann, U., R. L. Romer, A. Gerdes, T. E. Jeffries, K. Drost & J. Ulrych (2010): The Cadomian Orogeny in the Saxo-Thuringian Zone. – In: Linnemann, U. & R. L. Romer (Hrsg.): Pre-Mesozoic Geology of Saxo-Thuringia. From the Cadomian Active Margin to the Variscan Orogeny. – E. Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung; Stuttgart: 37–58

Lobst, R. (2013): On the deposits and structure of the Großschönau Tertiary basin (southeastern Saxony, Germany). – In: Büchner, J., L. Rapprich & O. Tietz (Hrsg): Basalt 2013, Cenozoic Magmatism in Central Europe, Senckenberg Scientific Conference 24th to 28th April 2013, Görlitz/Germany,

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

Abstracts and Excursion Guides. – Czech Geological Survey Prague & Senckenberg Museum of Natural History Görlitz; Prague: 161–162

Lorenz, W. & L. Kopecký (1964, Red.): Geologische Karte der Deutschen Demokratischen Republik 1 : 200 000, Karte ohne Quartärbildungen, Blatt Görlitz–Děčín (Nr. M-33-IX). – Zentrales Geologisches Institut und Ústřední ústav geologický; Berlin und Praha: 1 Karte

Lustrino, M. & M. Wilson (2007): The circum-Mediterranean anorogenic Cenozoic igneous province. – Earth-Science Reviews **81**: 1–65

Moussallam, Y, C. Oppenheimer, B. Scaillet & P. R. Kyle (2013): Experimental Phase-equilibrium Constraints on the Phonolite Magmatic System of Erebus Volcano, Antarctica. – Journal of Petrology **54**, 7: 1285–1307

Mitchell, A. J., D. Uličný, , G. J. Hampson, , P. A. Allison, , G. J. Gorman, , M. D. Piggott, , M. R. Wells, & C. C. Pain (2010): Modelling tidal current-induced bed shear stress and palaeocirculation in an epicontinental seaway: the Bohemian Cretaceous Basin, Central Europe. – Sedimentology **57**: 359–388; Oxford.

Müller, B. (1927): Die geologische Sektion Oschitz-Hammer des Kartenblattes Turnau in Nordböhmen. – Mitteilungen des Vereins der Naturfreunde Reichenberg **49**: 3–55

Müller, B. (1933): Erläuterungen zur geologischen Karte des Bezirkes Deutsch-Gabel in Böhmen. – Firgenwald - Vierteljahrsschrift für Geologie und Erdkunde der Sudetenländer **6**: 8–85

Nádaskay, R. (2013): Sedimentační režim a genetická stratigrafie coniaku v sz. části české křídové pánve. – Diplomová práce, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta; Praha: 114 S.

Nádaskay, R. & D. Uličný, (2014): Genetic stratigraphy of Coniacian deltaic deposits of the northwestern part of the Bohemian Cretaceous Basin. – Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften **165**, 4: 547–575

Nádaskay, R., J. Valečka & S. Čech (2017): Příspěvek jádrových vrtů projektu Rebilance zásob podzemních vod ke stratigrafii, sedimentologii a tektonice svrchní křídy v sz. části české křídové pánve. – Zprávy o geologických výzkumech **50**, 1: 129–136

Niebuhr, B. & M. Wilmsen (2016a): Vorwort zum Teil 2. – Geologica Saxonica **62**: 3–10

Niebuhr, B. & M. Wilmsen (2016b): Ichnofossilien. – In: Niebuhr, B. & M. Wilmsen (Hrsg.): Kreide-Fossilien in Sachsen, Teil 2. – Geologica Saxonica **62**: 181–238

Niebuhr, B., M. Hiss, U. Kaplan, K.-A. Tröger, S. Voigt, T. Voigt, F. Wiese, & M. Wilmsen (2007): Lithostratigraphie der norddeutschen Oberkreide. – Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften **55**: 1–136

Pešek, J., Z. Kvaček, M. Svobodová, I. Sýkorová (2014): Cenomanian lignite deposits – In: Pešek, J. et al. (Hrsg.): Tertiary basins and lignite deposits of the Czech Republic. – Czech Geological Survey; Prague: 20–30

Petrascheck, W. (1936): Eigenartige Gerölle im Kreidesandstein von Kreibitz (Nordböhmen). – Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft **88**, 8: 539–543

Popig, H. (1903): Die Stellung der Südostlausitz im Gebirgsbau Deutschlands und ihre individuelle Ausgestaltung in Orographie und Landschaft. – Union Deutsche Verlagsgesellschaft, Stuttgart: 88 S.

Prescher, H. (1957): Die Niederschönaer Schichten der sächsischen Kreide. – Freiberger Forschungshefte **C 34**: 1–96

Rapprich, V. & R. Nádaskay (2017): Vrtným průzkumem nově zjištěná fonolitová tělesa v Lužických horách. – Zprávy o geologických výzkumech **50**, 2: 207–213

Reineck, H.-E. (1984): Aktuogeologie klastischer Sedimente. – Waldemar Kramer; Frankfurt/Main: 348 S.

Reineck, H.-E. & F. Wunderlich (1968): Classification and origin of flaser and lenticular bedding. – Sedimentology **11**: 99–104

Reineck, H.-E. & I.B. Singh (1980): Depositional Sedimentary Environments. – Springer; Berlin - New York - Heidelberg: 551 S.

Reineck, H.-E. (1972): Tidal flats. – In: Rigby, J. K & W. K. Hamblin (Hrsg.): Recognition of ancient sedimentary environments. – Society of Economic Paleontologists and Mineralogists (SEPM), Special publication **16**: 146–159

Rölke, P. (2006, Hrsg.): Wander- & Naturführer Zittauer Gebirge. – Berg- & Naturverlag Rölke; Dresden: 272 S.

Sachs, A. (1906): Die Bodenschätze Schlesiens (Erze, Kohlen, nutzbare Gesteine). – Verlag von Veit & Co.; Leipzig: 194 S.

Schulze, H. (1995): Tertiärbecken der südöstlichen Oberlausitz. – Berichte der Naturforschenden Gesellschaft der Oberlausitz **4**: 11–15

Schust, F. & J. Wasternack (2002): Granitoid-Typen in postkinematischen Granitoidplutonen: Abbilder

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

von autonomen Intrusionsschüben - Beispiele vom Nordrand des Böhmischen Massivs (Erzgebirge - Harz - Flechtinger Scholle - Lausitz). – Zeitschrift für geologische Wissenschaften **30**, 1/2: 77–117

Scupin, H. (1910): Die Entstehung der niederschlesischen Senon-Kohlen. – Zeitschrift für praktische Geologie **XVIII**: 254–257

Siegert, T. (1895): Geologische Specialkarte des Königreichs Sachsen, 1:25 000, Blatt 107, Section Zittau-Oybin-Lausche. – Giesecke & Devrient; Leipzig

Sitte, J. (1931): Inoceramus labiatus SCHLOTHEIM und die unterturonen Sandsteine innerhalb des Zittauer Quadersandsteingebirges. – Firgenwald – Vierteljahrsschrift für Geologie und Erdkunde der Sudetenländer **4**: 148–153

Špičáková, L., D. Uličný & M. Svobodová (2014): Phases of the mid-Cenomanian transgression recorded in a composite palaeovalley fill – the Horoušany quarry, Bohemian Cretaceous Basin. – Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften **165**: 581–619

Stach, E., M.-T. Mackowsky, M. Teichmüller, G. H. Taylor, D. Chandra & R. Teichmüller (1982, Hrsg.): Stach's textbook of coal petrology. – 3. Auflage, Gebrüder Bornträger Verlag; Berlin, Stuttgart: 535 S.

Steding, D. (1998): Geologische Karte der eiszeitlich bedeckten Gebiete von Sachsen 1:50 000, Blatt Zittau. – Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie; Freiberg

Steiner, J. (1978): Geologická charakteristika křídy v severovýchodní části lužické faciální oblasti. – Sborník Severočeského musea, Přírodní vědy **10**: 101–123

Suhr, P. & K. Goth (2002): Maare – eine lange Zeit unbekannte Erscheinungsform des tertiären Vulkanismus in der Oberlausitz. – Berichte der Naturforschenden Gesellschaft der Oberlausitz **10**: 27–35

Tedesco, L. P. & H. R. Wanless (1991): Generation of Sedimentary Fabrics and Facies by Repetitive Excavation and Storm Infilling of Burrow Networks, Holocene of South Florida and Caicos Platform, B.W.I. – Palaios **6**: 326–343

Tietz, O. & J. Büchner (2015): The landscape evolution of the Lausitz Block since the Paleozoic – with special emphasis to the neovolcanic edifices in the Lausitz Volcanic Field (Eastern Germany). – Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften/German Journal of Geosience **166**, 2: 125–147

Tietz, O., J. Büchner, P. Suhr, M. Abratis & K. Goth (2011a): Die Geologie des Baruther Schafberges und der Dubrauker Horken – Aufbau und Entwicklung eines känozoischen Vulkankomplexes in Ostsachsen – Berichte der Naturforschenden Gesellschaft der Oberlausitz – Supplement zu Band **18**: 15–48

Tietz, O., J. Büchner & M. Lapp (2017): The Stolpen Volcano in the Lausitz Volcanic Field (East Germany) – volcanological, petrographic and geochemical investigations at the type locality of basalt. – In: Magna, T. & V. Rapprich (Hrsg.): Basalt 2017 Kadaň, Within-plate Alkaline and Carbonatite Magmatism, Abstracts & Excursion Guides, 18th to 22nd September 2017, Kadaň/ Czech Republic – Czech Geological Society & Czech Geological Survey; Prague: 57–58

Tietz, O. & A. Czaja (2004): Die Braunkohlenlagerstätte Berzdorf – Geologie, geologische Substrate und Paläobotanik. – Berichte der Naturforschenden Gesellschaft der Oberlausitz **11**: 57–76

Tietz, O. & A. Czaja (2010): Die Stratigrafie des Berzdorfer Beckens in der Oberlausitz (Ostdeutschland) – eine Ergänzung zur Stratigraphischen Tabelle von Deutschland 2002 (STD 2002). – Zeitschrift der deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften **161**, 4: 459–463

Tietz, O., A. Gärtner & J. Büchner (2011b): The monogenetic Sonnenberg scoria cone – implications for volcanic development and landscape evolution in the Zittau Mountains (Germany). – Zeitschrift für geologische Wissenschaften **39**, 5/6: 311–334

Tröger, K.-A. (1964): Die Ausbildung der Kreide (Cenoman bis Coniac) in der Umrandung des Lausitzer Massivs. – Geologie **13**, 6/7: 717–730

Tröger, K-A. & B. Niebuhr (2014): 6. Inoceramide Muscheln. – Geologica Saxonica **60**, 1: 169–199

Uličný, D., L. Špičáková, R. Grygar, M. Svobodová, S. Čech & J. Laurin (2009): Palaeodrainage systems at the basal unconformity of the Bohemian Cretaceous Basin: roles of inherited fault systems and basement lithology during the onset of basin filling. – Bulletin of Geosciences **48**, 4: 577–610

Valečka, J. (2015): Říční sedimenty peruckých vrstev české křídové pánve u Benešova nad Ploučnicí. – Zprávy o geologických výzkumech v roce **2014**, A – Regionální geologie a stratigrafie: 31–36

Valečka, J., M. Adamová, J. Burda, K. Dušek, F. Fediuk, V. Kořán, M. Manová, C. Nekovařík, D. Nývlt, M. Opletal, V. Prouza, P. Rambousek &

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

K. Šalanský (2006): Základní geologická mapa České republiky 1:25 000 s Vysvětlivkami, 02–242 Dolní Podluží. – Česká geologická služba (Hrsg.); Praha [Geologische Basiskarte der Tschechischen Republik 1 : 25 000 mit Erläuterungen, Blatt 02–242 Dolní Podluží: 1 Karte und 57 S.]

Veselý, M. (2001): Hnědouhelné doly u Dolního Podluží. – Bezděz **10**: 105–117

Voigt, T. (1994): Faziesentwicklung und Ablagerungssequenzen am Rand eines Epikontinentalmeeres – die Sedimentationsgeschichte der Sächsischen Kreide. – Dissertation Bergakademie Freiberg; Freiberg: 130 S. [unpubl.]

Voigt, T. (1998): Entwicklung und Architektur einer fluviatilen Talfüllung – die Niederschöna Formation im Sächsischen Kreidebecken. – Abhandlungen des Staatlichen Museums für Mineralogie und Geologie Dresden **43/44**: 121–139

Voigt, T. (2009): Die Lausitz-Riesengebirgs-Antiklinalzone als kreidezeitliche Inversionsstruktur: Geologische Hinweise aus den umgebenden Kreidebecken. – Zeitschrift für Geologische Wissenschaften **37**, 1–2: 15–39

Voigt, T. (2011): Sturmdominierte Sedimentation in der Postelwitz-Formation (Turon) der Sächsischen Kreide. – Freiberger Forschungshefte **C 540** (Karl-Armin-Tröger-Festschrift): 3–25

Voigt, T. & K.-A. Tröger (2007): Waltersdorf-Formation. – In: Niebuhr, B., M. Hiss, U. Kaplan, K.-A. Tröger, S. Voigt, T. Voigt, F. Wiese, & M. Wilmsen (Hrsg.): Lithostratigraphie der norddeutschen Oberkreide. – Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften **55**: 65–66

Voigt, T., J. Franke & S. Franke (2013): Grundlagen für ein geologisch-tektonisches Modell der Kreideablagerungen im Sächsisch-Böhmischen Grenzbereich im Rahmen des Ziel 3 - Projektes GRACE. – Jena: 42 S. [https://heis.vuv.cz/data/webmap/datovesady/projekty/grace2011/docstazeni/grundlagen_fur_ein_geologisch-tektonisches_modell.pdf] und Anhang [unveröff.]

Voigt, T., F. Wiese, H. v. Eynatten, H.-J. Franzke & R. Gaupp (2006): Facies evolution of syntectonic Upper Cretaceous deposits in the Subhercynian Cretaceous Basin and adjoining areas (Germany). – Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften **157**, 2: 203–244

Volkmann, N. (2000): Zum Einfluß rohstofflicher Merkmale auf das Verhalten einheimischer Weichbraunkohlen in der katalytischen Hochdruck-Hydrierung. – Freiberger Forschungshefte **C 484**: 1–154

Walaszczyk, I. (1996): Inoceramids from Kreibitz-Zittauer area (Saxony and northern Bohemia): revision of ANDERT'S (1911) descriptions. – Paläontologische Zeitschrift **70**, 3–4: 367–392

Walther, H. & Z. Kvaček (2007): Early Oligocene flora of Seifhennersdorf (Saxony). – Acta Musei Nationalis Pragae, Series B, Historia Naturalis **63**, 2–4: 85 – 174

Wenger, E., J. Büchner, O. Tietz & J. Mrlina (2017): The polycyclic Lausche Volcano (Lausitz Volcanic Field) and its message concerning landscape evolution in the Lausitz Mountains (northern Bohemian Massif, Central Europe). – Geomorphology **292**: 193–210

Wilmsen, M. & B. Niebuhr (2014): 1. Die Kreide in Sachsen. – Geologica Saxonica **60**, 1: 3–12

Wilmsen, M. & B. Niebuhr (2017): Stratigraphie und Ablagerungsbedingungen der Kreide in Sachsen (Elbtal-Gruppe, Cenomanium–Unterconiacium). – Senckenberg research. SGN-Retreat RF IV Biodiversity and Earth System Dynamics, 08.–10.05.2017; Dresden: 26 S. [unveröff.]

Wright, L. D. (1985): River deltas. – In: Davies, R. A. (Hrsg.): Coastal sedimentary environments. – Springer; New York: 1–76

Zieger, J., U. Linnemann, M. Hofmann, A. Gärtner, L. Marko & A. Gerdes (2018): A new U–Pb LA-ICP-MS age of the Rumburk granite (Lausitz Block, Saxo-Thuringian Zone): constraints for a magmatic event in the Upper Cambrian. – International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau) **107**, 3: 933–953

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

Anschriften der Verfasser

Dr. Olaf Tietz und Jörg Büchner
Senckenberg Museum für Naturkunde Görlitz
Am Museum 1
02826 Görlitz
E-Mail: olaf.tietz@senckenberg.de
joerg.buechner@senckenberg.de

Wolfram Lange
Hauptstr. 21
02763 Zittau
E-Mail: wolframit@freenet.de

Prof. Dr. Norbert Volkmann
und Dr. Henny Gerschel
TU Bergakademie Freiberg
Institut für Geologie, Arbeitsgruppe
Brennstoffgeologie
Gustav-Zeuner-Str. 12
09599 Freiberg
E-Mail: volkmann@mailserver.tu-freiberg.de
henny.gerschel@geo.tu-freiberg.de

Erik Wenger
Löbauer Str. 21
02747 Herrnhut
E-Mail: erik.wenger@web.de

PD Dr. Markus Wilmsen
Senckenberg Naturhistorische
Sammlungen Dresden
Museum für Mineralogie und Geologie
Königsbrücker Landstr. 159
01109 Dresden
E-Mail: markus.wilmsen@senckenberg.de

RN Dr. Marcela Svobodová, CSc.
Geologisches Institut der Akademie der
Wissenschaften der Tschechischen Republik
Abteilung Paläobiologie & Paläoökologie
Rozvojová 269
165 00 Praha 6
E-Mail: msvobodova@gli.cas.cz

Manuskripteingang	17.4.2018
Manuskriptannahme	18.7.2018
Erschienen	12.11.2018

© Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz e.V.
http://www.naturforschende-gesellschaft-der-oberlausitz.de
ISSN 0941-0627

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Naturforschende Gesellschaft der Oberlausitz

Jahr/Year: 2018

Band/Volume: 26

Autor(en)/Author(s): Tietz Olaf, Lange Wolfram, Volkmann Norbert, Gerschel Henny, Wenger Erik, Wilmsen Markus, Svobodova Marcela, Büchner Jörg

Artikel/Article: Steinkohle in den Oberkreide-Sandsteinen von Waltersdorf im Zittauer Gebirge, Sachsen 77-106