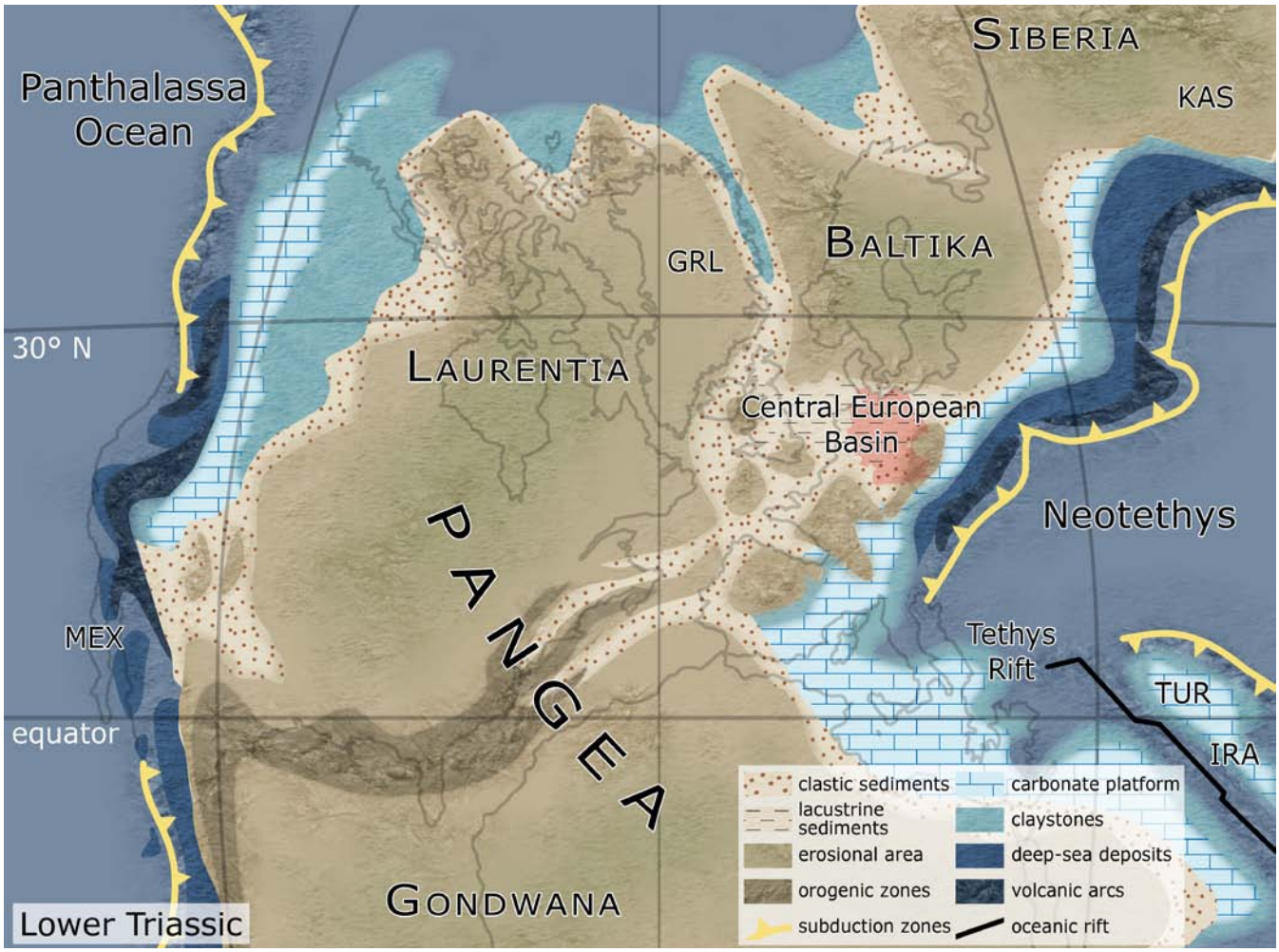
EurGeol Dr. rer. nat. Lutz Krakow and/und Dipl.-Geol. Franziska Schunke

Current clay potential in Germany Part 4: Raw materials from the Buntsandstein group/ Trias system

Aktuelles Tonpotenzial von Deutschland Teil 4: Rohstoffe aus der Gruppe des Buntsandstein/ System Trias

Argillaceous rocks from the lithostratigraphic group of the Buntsandstein are some of the most important raw materials in German clay brick and tile industry. They constitute the raw materials basis of significant clay backing brick and roofing tile factories. Weathered deposits from the Middle Buntsandstein represent kaolin raw materials of international renown. In this paper, the geological background and aspects on use in the clay brick and tile industry are examined more closely.

Tongesteine aus der lithostratigrafischen Gruppe des Buntsandstein zählen zu den wichtigsten Rohstoffen der Deutschen Ziegelindustrie. Sie stellen die Rohstoffbasis bedeutender Hintermauer- und Dachziegelwerke dar. Verwitterungslagerstätten des Mittleren Buntsandstein repräsentieren Kaolinrohstoffe von internationalem Rang. Im vorliegenden Beitrag werden der geologische Hintergrund und Aspekte zum Einsatz in der Ziegelindustrie näher beleuchtet.



»1 Palaeogeographic position of the Central European Basin at the time of the Buntsandstein, modified model from: [3]

»1 Paläogeografische Lage des Zentraleuropäischen Beckens zur Zeit des Buntsandstein, modifiziertes Modell aus: [3]

1 Global geology and tectonics

The Buntsandstein is the lowest lithostratigraphic group of the Germanic Trias, which is characterized by a time of dominance of solid land and constitutes the first system in the Mesozoic. The time span of Buntsandstein began around 252.5 million years ago and ended following a relatively short time in geological terms around 246.5 million years ago [1]. The horizontal border to the Zechstein/Permian system is lithologically unsharp within sandy-conglomerate stratigraphic sequences. On the other hand, the occurrence of epicontinental dolomitic limestone beds marks a significant border to the overlying sediments of the Muschelkalk/Middle Trias system.

At the time of the Buntsandstein, Central Europe lay in the east of the Pangaea supercontinent, approximately between 25 and 30 degrees north and therefore in the region of the desert belt (»1). Periodically, monsoons from the Neotethys Ocean in the southeast spread to the basin and led to extensive flooding, which then alternated with relatively long dry periods. Dominant are red sediment colours caused by finely distributed iron oxide/haematite, which are regarded as indicators of an arid climate and oxidizing environment [2]. But as the term Buntsandstein (variegated sandstone) suggests, a whole host of other sediment colours can be found, especially turquoise, greenish grey, anthracite, buff and white.

In plate tectonic terms the development is determined by the beginnings of the collapse of the Pangaea supercontinent and the progressive opening of the Neotethys Ocean. The northwestern peripheral regions of the Neotethys Ocean were formed by extensive shelf areas on top of which several kilometre-thick sequences of marine carbonate rocks were deposited. These pelagic sedimentary sequences of the Alpine-Mediterranean Triassic can be found today in the folded orogens of the Alps and Carpathians as well as in the Dinaric Alps.

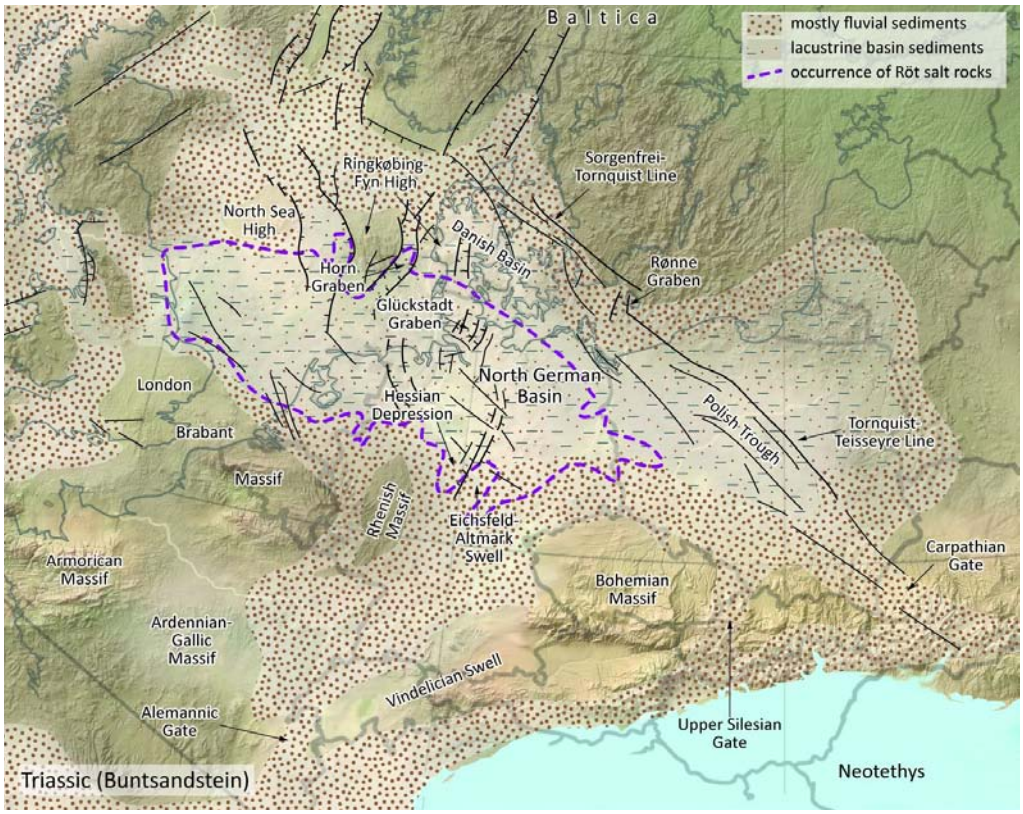
Separate from this is the area of Central Europe where the sediments of the Germanic Trias were deposited. The sedimentation basin extended over around 1800 km from England in the west to Belarus in the east and over around 600 km in the north-south direction from Scandinavia to the southern peripheral region, reaching as far as Eastern France and into Switzerland [3]. The Central European Basin and therefore the main supply regions were separated by the surrounding substrata (»2). A Proto-Atlantic expansion system led to the formation of north-south oriented trench structures, which include the Horn-Graben, the Glückstadt-Graben and the Hessian Basin [4].

1 Globale Erdgeschichte und Tektonik

Der Buntsandstein ist die unterste lithostratigrafische Gruppe der Germanischen Trias, die durch eine Zeit der Vorherrschaft des festen Landes charakterisiert ist und das erste System im Mesozoikum darstellt. Die Zeit des Buntsandstein begann vor etwa 252,5 Millionen Jahren und endete nach geologisch relativ kurzer Zeit vor rund 246,5 Millionen Jahren [1]. Die Liegendgrenze zum Zechstein/System Perm ist innerhalb sandig-konglomeratischer Schichtfolgen lithologisch unscharf. Dagegen markiert das Auftreten epikontinentaler Gelbkalkbänke eine signifikante Grenze zu den überlagernden Sedimenten der Muschelkalkgruppe/System Trias.

Zur Zeit des Buntsandstein lag Mitteleuropa im Osten des Superkontinents Pangäa, etwa zwischen dem 25. und 30. Grad nördlicher Breite und damit im Bereich des Wüstengürtels (»1). Periodisch griffen Monsune aus dem südöstlich gelegenen Neotethys-Ozean auf das Becken über und führten zu weitflächigen Überflutungen, die dann wieder mit längeren Trockenzeiten wechselten. Dominant sind rote Sedimentfarben, die durch feinverteiltes Eisenoxid/Hämatit hervorgerufen werden und als Indikatoren für arides Klima und oxidierendes Milieu gelten [2]. Aber wie der Begriff Buntsandstein vermuten lässt, tritt ein ganzes Bündel weiterer Sedimentfarben auf, vor allem Türkis, Grüngrau, Anthrazit, Gelbbraun und Weiß.

Plattentektonisch ist die Entwicklung von dem beginnenden Zerfall des Superkontinentes Pangäa und der fortschreitenden Öffnung des Neotethys-Ozeans bestimmt. Die nordwestlichen Randbereiche des Neotethys-Ozeans bildeten ausgedehnte Schelfbereiche, auf denen mehrere Kilometer mächtige Abfolgen mariner Karbonatgesteine zum Absatz kamen. Diese pelagischen Sedimentfolgen der Alpin-mediterranen Trias finden sich heute in den gefalteten Orogenen der Alpen und der Karpaten sowie im Dinarischen Gebirge wieder.



»2 Grouping and facies areas of the Central European Basin at the time of the Buntsandstein, model from: [4]

»2 Gliederung und Faziesbereiche des Zentraleuropäischen Beckens zur Zeit des Buntsandstein, Modell aus: [4]

Photo/Foto: Krakow

»3 The epitome of alternation: Thousands of alternating strata in the Bernburg formation/Waldecker Land (2016)

»3 Der Inbegriff der Wechselfolge: Tausende von Schichtwechseln in der Bernburg-Formation/Waldecker Land (2016)

Photo/Foto: Krakow

»4 Random reduction bleaching or the symbol of the spirals as a mystic message?/Waldecker Land (2016)

»4 Zufällige Reduktionsbleichung oder das Symbol der Spirale als mystische Botschaft?/Waldecker Land (2016)

2 Main areas and lithostratigraphic clay potential

2.1 Distribution and grouping principles

At the time of their deposition, the sediments of the Buntsandstein covered almost all Germany. Today, over wide expanses of the Northern German Sub-Basin, the Buntsandstein is covered by thick surface layers. Only south of the Central Upland Ranges, approximately along the line Bramsche, Helmstedt, Bernburg, Halle, Zeitz, Altenburg, does the Buntsandstein appear at the surface. A striking exception is the island of Helgoland, where the Middle Buntsandstein has been lifted to the Earth's surface as a result of salt tectonics.

In Central and Southwestern Germany, the Buntsandstein is widely distributed near the surface. The main areas are the Osnabrück Uplands, the Hildesheim Forest, the Leine and Weser Uplands with the Solling, the north-eastern and south-western Harz foreland with the Eichsfeld, peripheral areas of the Thuringian Basin with the Halle and Eisenberg regions, the south-western foreland of the Franconian Forest, the Upper Palatinate, the Hessian Uplands with Reinhardswald Hills, Egge Hills, Waldeck Uplands, Rhön Mountains, Spessart Mountains, and Kraichgau Hills, the Palatinate Forest, the Odenwald Forest and the Black Forest. The distribution by German state is: Lower Saxony, Saxony-Anhalt, North Rhine Westphalia, Hesse, Rhineland-Palatinate, Thuringia, Bavaria, Baden-Württemberg, Saarland.

The Buntsandstein consists primarily of continental sediments. Typical for the peripheral regions are alluvial fans and sandstones, while for the interior of the basin, brackish to saline argillaceous rock with carbonate, sulphate and rock salt deposits are found [5]. Vertically the sequence of strata is grouped into a series of small-cycle "fining upwards" (Sohlbank) sequences, each cycle beginning with clastic material. On top follow sandstone-argillaceous rock in alternation, which then go over into the clayey top of the respective small cycle. The typical small cycle is around 10 to 25 m thick in the basin facies and reflects the climatic change from a humid to a dryer climate. The duration of a humid-dry cycle is estimated at around 100 000 years [2].

Hiervon abzugrenzen ist das Gebiet von Zentraleuropa, wo die Sedimente der Germanischen Trias zum Absatz kamen. Das Sedimentationsbecken erstreckte sich über etwa 1800 km von England im Westen bis nach Weißrussland im Osten und über etwa 600 km in Nord-Süd-Richtung von Skandinavien bis in die südlichen Randgebiete, die bis nach Ostfrankreich und in die Schweiz hineinreichen [3]. Die Abgrenzung des Mitteleuropäischen Beckens und damit auch die Hauptliefergebiete bildeten die umgebenden Grundgebirgsmassive (»2). Ein protoatlantisches Dehnungssystem führte zur Bildung von Nord-Süd orientierten Grabenstrukturen, die unter anderem den Horn-Graben, den Glückstadt-Graben und die Hessische Senke umfassen [4].

2 Hauptgebiete und lithostratigrafische Tonpotenziale

2.1 Verbreitung und Gliederungsprinzipien

Zur Zeit ihrer Ablagerung bedeckten die Sedimente des Buntsandstein fast ganz Deutschland. Heute ist der Buntsandstein in weiten Bereichen des Norddeutschen Teilbeckens durch mächtige Deckschichten verhüllt. Erst südlich der Mittelgebirgsschwelle, etwa entlang der Linie Bramsche, Helmstedt, Bernburg, Halle, Zeitz, Altenburg, tritt der Buntsandstein zutage. Eine markante Ausnahme stellt die Insel Helgoland dar, wo der Mittlere Buntsandstein durch Salztektonik an die Erdoberfläche gehoben wurde.

Im mittleren und südwestlichen Deutschland ist der Buntsandstein oberflächennah weit verbreitet. Hauptgebiete sind das Osnabrücker Bergland, der Hildesheimer Wald, das Leine- und Weserbergland mit dem Solling, das nordöstliche und südwestliche Harzvorland mit dem Eichsfeld, Randbereiche des Thüringer Beckens mit dem Raum Halle und Eisenberg, das südwestliche Vorland des Frankenwaldes, die Oberpfalz, das Hessische Bergland mit Reinhardswald, Eggegebirge, Waldecker Land, Rhön, Spessart und Kraichgau, der Pfälzer Wald, der Odenwald und der Schwarzwald. Die Verbreitung nach Bundesländern lautet: Niedersachsen, Sachsen-Anhalt, Nordrhein-Westfalen, Hessen, Rheinland-Pfalz, Thüringen, Bayern, Baden-Württemberg, Saarland.

Photo/Foto: Krakow

»5 Characteristic lenticular and flaser bedding/Waldecker Land (2016)

»5 Charakteristische Linsen- und Flaserschichtung/Waldecker Land (2016)

Photo/Foto: Krakow

»6 Wave ripple structure as an indication of moving water/Typus-Region Bernburg (2016)

»6 Wellenrippelstruktur als Anzeiger für bewegtes Wasser/Typus-Region Bernburg (2016)

"All things are in flux – the only thing that is constant is change". The science of geology inspired Heraclitus of Ephesus to this famous saying. (»3) shows in a terrace-like profile thousands of strata changes that are documented in different grain sizes, mineral parageneses and sediment colours. Truly the epitome of nested small-cyclic and large-cyclic alternations. Striking in red beds are light-green reduction halos and bleaching zones in which the colouring haematite has been reduced and/or dissipated (»4). Characteristic sediment structures in moving water are lenticular and flaser bedding (»5), cross-bedding and wave ripples (»6). Still water sediments on the other hand are represented by extremely finely layered clays and mica deposits (»7).

2.2 Lower Buntsandstein

In initially still arid climatic conditions, the Lower Buntsandstein forms the conclusion of the evaporation epoch of the Zechstein. In temporary, sometimes salinar, landlocked lakes, silts and clays were deposited, often together with finely dispersed dolomite, sometimes also with sulphates and salts. These flat depressions are therefore referred to as salt flats. The Zechstein/Buntsandstein border can by definition be laid at the lower boundary of the Calvörde formation (s1-sequence), which begins with an oolite-bearing basic sandstone before going into a sandstone-claystone alternation. The fine-grained top of the Calvörde formation, consists of thick, usually sandy-oolitic argillaceous rock strata. The thickness of the s1-sequence measures a total of around 135 to 190 m [6].

For the first time since the Zechstein, with the Bernburg formation (s2-sequence), a long-term change to a semi-arid climate with periodic water supply can be clearly recognized. In the sediment, this is reflected especially by the wave ripple marks. Drying cracks, on the other hand, evidence the temporary-cyclic drying of the sedimentary basin (»8). The numerous small cycles of the Bernburg formation can be described in simplified terms as fine sandstone-siltstone-argillaceous rock alternations with intercalated oolite zones, which can also be calcareous and

Der Buntsandstein besteht vorwiegend aus kontinentalen Sedimenten. Für die Randgebiete sind alluviale Schuttfächer und Sandsteine, für das Innere des Beckens sind brackische bis salinare Tongesteine mit Karbonat-, Sulfat- und Steinsalzabscheidungen typisch [5]. Vertikal wird die Schichtfolge in eine Reihe von kleinzyklischen Sohlbanksequenzen gegliedert, wobei jeder Kleinzyklus grobklastisch beginnt. Darüber folgen Sandstein-Tonstein-Wechselfolgen, die dann in das tonige Top des jeweiligen Kleinzyklus übergehen. Der typische Kleinzyklus ist in der Becken-Fazies etwa 10 bis 25 m mächtig und spiegelt klimatisch den Wechsel von einem feuchten zu einem trockeneren Klima wider. Die Dauer eines Feucht-Trocken-Zyklus wird auf etwa 100 000 Jahre geschätzt [2].

„Alles fließt – nichts ist so beständig wie der Wandel". Die Wissenschaft der Geologie hat Heraklit von Ephesos zu diesem berühmten Zitat inspiriert. (»3) zeigt in einem terrassenartigen Profil Tausende von Schichtwechseln, die sich in unterschiedlichen Korngrößen, Mineralparagenesen und Sedimentfarben dokumentieren. Wahrlich der Inbegriff ineinander verschachtelter, kleinzyklischer und großzyklischer Wechselfolgen. Auffällig in Rotsedimenten sind hellgrüne Reduktionshöfe und Bleichungszonen, in denen der farbgebende Hämatit reduziert und/oder abgeführt wurde (»4). Charakteristische Sedimentstrukturen in bewegtem Wasser sind Linsen- und Flaserschichtungen (»5), Schrägschichtung und Wellenrippelmarken (»6). Stillwassersedimente werden dagegen durch extrem feingeschichtete Tone und Glimmerseifen repräsentiert (»7).

2.2 Unterer Buntsandstein

Unter zunächst noch ariden Klimaverhältnissen bildet der Untere Buntsandstein den Ausklang der Eindampfungsepoche des Zechstein. In temporären, zeitweise übersalzenen, abflusslosen Endseen kamen Schluffe und Tone, oft zusammen mit feinverteiltem Dolomit, zum Teil auch mit Sulfaten und Salzen zum Absatz. Diese flachen Senken werden daher auch als Salztonebenen bezeichnet. Die Grenze Zechstein/Buntsandstein ist per Definition an die Unter-

Photo/Foto: Krakow

»7 One of innumerable muscovitic mica deposits at the top of narrow alternations/Waldecker Land (2016)

»7 Eine von unzähligen muskowitischen Glimmerseifen am Top von engständigen Wechselfolgen/Waldecker Land (2016)

Photo/Foto: Krakow

»8 Drying cracks as indications of temporary drying out of the sedimentary basin in semi-arid climate/Waldecker Land (2016)

»8 Trockenrisse als Anzeiger für temporäres Austrocknen des Sedimentbeckens in semiaridem Klima/Waldecker Land (2016)

then referred to as roestone. The basis of a new cycle sequence is indicated by clay fragments in the Sohlbank sandstones. Clay fragments are usually centimetre-large resediments from the clayey top of the underlying cycle sequence. The thickness of the Bernburg-formation measures up to over 210 m in the subsidence zones and on crests inside the basin around 80 m [6].

2.3 Middle Buntsandstein

As a result of tectonic movements, in the Middle Buntsandstein there was an increase in the relief energy so that the transport of relatively coarse sediments became increasingly possible. Gravel and coarser sands were thrust in broad fans from the high ground into the North German Basin. At the southern edge of the Basin, high-feldspar arkoses were deposited, which were discharged from the crystalline areas of the Vindelician Crest and the Bohemian Massif from the southern direction.

The Middle Buntsandstein (»9) begins with the significantly marked basic sandstone of the Volpriehausen formation (s3-sequence). On top follow fluviatile and limnic depositions of the Volpriehausen alternated bedding, consisting of clay, silt and fine sandstones. The s3-sequence is terminated by the clayey-silty Avicula strata, which were deposited via the North Sea Strait as part of a marine ingression. The thickness of the Volpriehausen formation in the Hessian Basin measures up to 230 m.

In principle, the strata of the Detfurth-Formation (s4-sequence) are structured in the same way. Here too the sequence begins with a basic sandstone, then it changes over to sandstone-argillaceous rock alternations and ends with the Detfurth clay. The primary thicknesses of the Detfurth formation vary within the North German Basin between 50 and 120 m, the maximum values being found in the Reinhardswald.

In the Hardegsen formation (s5-sequence), sandy river deposits alternate cyclically with clayey-silty sediments, which settled in relatively small, standing waters. The moister climate is indicated by increased plant remains. In the North German Basin, the thickness of the s5-sequence is generally around 130 m. In

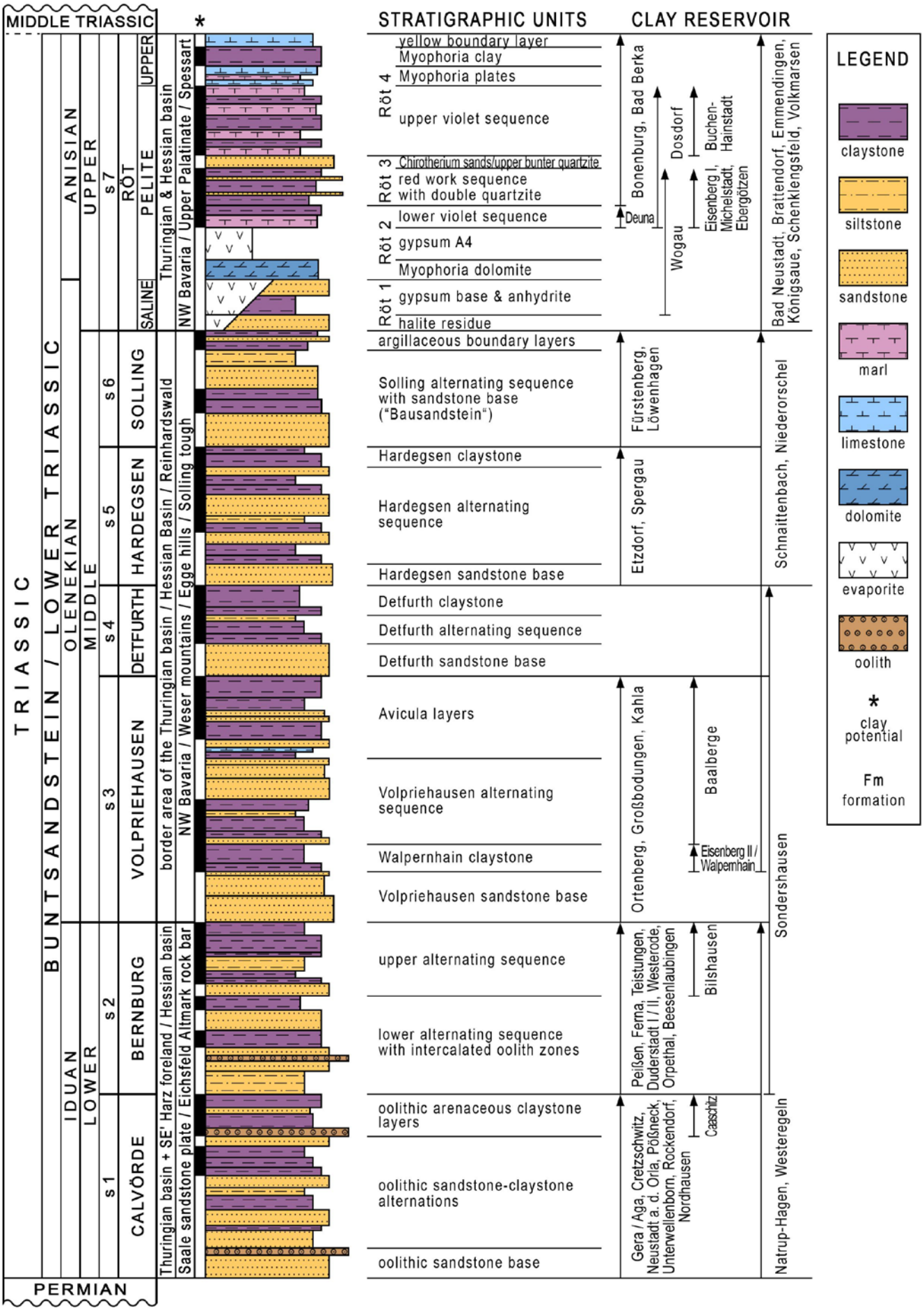
grenze der Calvörde-Formation (s1-Folge) zu legen, die mit einem oolithführenden Basissandstein beginnt und dann in Sandstein-Tonstein-Wechselfolgen übergeht. Das feinklastische Top der Calvörde-Formation besteht aus mächtigen, meist sandig-oolithischen Tonsteinabfolgen. Die Mächtigkeit der s1-Folge beträgt insgesamt etwa 135 bis 190 m [6].

Erstmals seit dem Zechstein ist mit der Bernburg-Formation (s2-Folge) ein langfristiger Umschwung zu einem semiariden Klima mit periodischer Wasserführung deutlich erkennbar. Im Sediment spiegelt sich dies vor allem durch Wellenrippelmarken wider. Trockenrisse belegen dagegen das temporär-zyklische Trockenfallen des Sedimentbeckens (»8). Die zahlreichen Kleinzyklen der Bernburg-Formation können vereinfacht als Feinsandstein-Schluffstein-Tonstein-Wechselfolgen mit eingeschalteten Oolith-Horizonten beschrieben werden, die auch kalkig sein können und dann als Rogensteine bezeichnet werden. Die Basis einer neuen Zyklus-Sequenz wird durch Tonklasten in den Sohlbanksandsteinen angezeigt. Tonklasten sind meist zentimetergroße Resedimente aus dem tonigen Top der unterlagernden Zyklus-Sequenz. Die Mächtigkeit der Bernburg-Formation beträgt in Senkungszonen bis über 210 m und auf beckeninternen Schwellen etwa 80 m [6].

2.3 Mittlerer Buntsandstein

Infolge tektonischer Bewegungen kam es im Mittleren Buntsandstein zu einer Erhöhung der Reliefenergie, sodass der Transport gröberer Sedimente zunehmend möglich wurde. Schotter und gröbere Sande schoben sich in breiten Fächern von den Hochgebieten in das Norddeutsche Becken vor. Am Südrand des Beckens wurden feldspatreiche Arkosen abgelagert, die von den Kristallingebieten der Vindelizischen Schwelle und des Böhmischen Massivs aus südlicher Richtung geschüttet wurden.

Der Mittlere Buntsandstein (»9) beginnt mit dem signifikant ausgeprägten Basissandstein der Volpriehausen-Formation (s3-Folge). Darüber folgen fluviatile und limnische Ablagerungen der Volpriehausen-Wechsellagerung, bestehend aus Ton-, Schluff- und Feinsandsteinen. Den Abschluss der s3-Folge bilden



»9 Geological standard section of the Buntsandstein with assignment of sites (simplified model from Dr. Krakow Rohstoffe GmbH, 2016)

»9 Geologisches Normalprofil des Buntsandstein mit Zuordnung von Standorten (vereinfachtes Modell der Dr. Krakow Rohstoffe GmbH, 2016)

subsidence centres like in the Reinhardswald Trough, maximum thicknesses of up to 230 m are reached.

In the Lower Solling formation (s6-sequence), cyclic, monsoon precipitation led to the formation of an inland lake that reached from the North Sea to the Göttingen area [3]. Following epeirogenic movements, the basic sediments of the s6-sequence settled on the basis of pronounced erosion discordance. The cyclical structure of the strata sequence is only evident only regionally or relictically. In simplified terms it is possible to assume a division into fine-grained building sandstone and clayey boundary layers. The thickness in the North German Basin measures up to 110 m.

2.4 Upper Buntsandstein/Röt

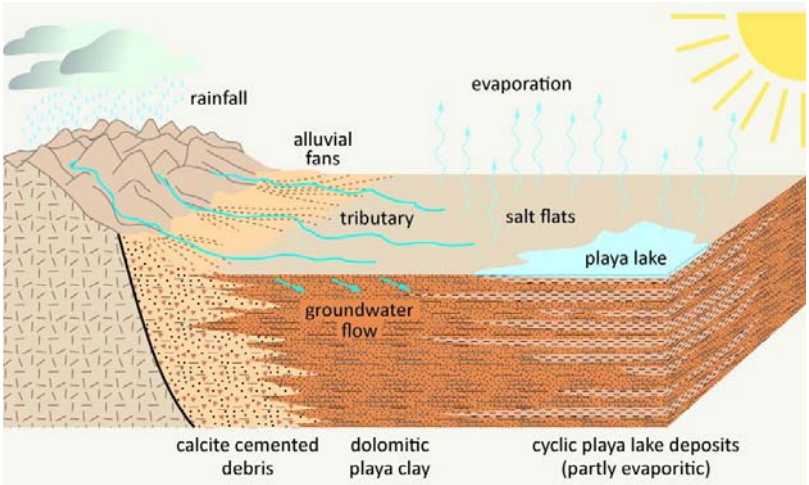
The Upper Buntsandstein begins with the onset of the Röt salinar or its peripheral facies equivalent. With the beginning of the Röt formation (s7-sequence), the climate became arid again, which is shown by thick evaporites. A block tilt closed the North Sea strait in the Röt. Instead, in the south with the Carpathian and Upper Silesian Gaps, new connections to the Neotethys Ocean opened up. The sediments are deposits of a large playa lake, into which, however, multiple marine transgressions broke (**»10**). Whereas the deeper part of the Röt formation in large areas of the Basin is characterized by thick evaporites (anhydrite, gypsum, rock salt), in the higher part, more clayey-marly sediments dominate, which already lead over to the overlying rocks of the Muschelkalk group (**»11**). Here especially dolomitic clay marl was deposited. In the centre of the basin with intercalated evaporites, thicknesses of around 350 m are reached, without evaporites around 200 m.

3 Aspects concerning use in the clay brick and tile industry

3.1 Raw material geology-related and mineralogical characteristics

Depending on the geological depth of burial, the rocks of the Buntsandstein are consolidated to a small to medium-strong extent. The rock mass is mostly horizontal, but can also be flat to steep. It generally shows a clearly jointed structure that consists of strata and cleavage surfaces. The joints can be massively mineralized with carbonates or sulphates, which limits or prohibits use of the material in the brick and roofing tile industry (**»12**). Moreover, hard sandstone and dolomite beds can severely disrupt the clay strata mass.

The rock is loosened mostly without blasting, but moved with crawlers and scraper dozers, in some cases selectively with high-power hydraulic excavators. Ideally the material is precrushed after extraction to sizes of around 0/60 mm, to ensure mixing of the small-cycle petrographic varieties. For the use in the clay brick and roofing tile industry, selective removal of dolomitic or even evaporitic parts can be necessary.



»10 Formation of salt clays in sporadic playa lakes in the arid to semi-arid climate regions, model from: [4]

»10 Entstehung von Salztonen in sporadischen Playa-Seen im ariden bis semiariden Klimabereich, Modell aus: [4]

die tonig-schluffig ausgebildeten Avicula-Schichten, die über die Nordseestraße im Zuge einer marinen Ingression abgelagert wurden. Die Mächtigkeit der Volpriehausen-Formation beträgt in der Hessischen Senke bis zu 230 m.

Prinzipiell nach dem gleichen Schema sind die Schichten der Detfurth-Formation (s4-Folge) aufgebaut. Auch hier beginnt die Abfolge mit einem Basissandstein, geht dann in Sandstein-Tonstein-Wechselfolgen über und endet mit dem Detfurth-Ton. Die primären Mächtigkeiten der Detfurth-Formation variieren innerhalb des Norddeutschen Beckens zwischen 50 und 120 m, wobei Maximalwerte im Rheinhardswald erreicht werden.

In der Hardegsen-Formation (s5-Folge) wechseln sandige Flussablagerungen zyklisch mit tonig-schluffigen Sedimenten, die in kleineren, stehenden Gewässern zum Absatz kamen. Das feuchtere Klima wird durch vermehrte Pflanzenfunde angezeigt. Im Norddeutschen Becken beträgt die Mächtigkeit der s5-Folge generell um die 130 m. In Subsidenzzentren wie im Reinhardswald-Trog werden maximale Mächtigkeiten von bis zu 230 m erreicht.

In der unteren Solling-Formation (s6-Folge) führten zyklische, monsunale Niederschläge zur Bildung eines Binnensees, der von der Nordsee bis in das Gebiet von Göttingen reichte [3]. Infolge epirogener Bewegungen setzten die Basissedimente der s6-Folge über einer ausgeprägten Erosionsdiskordanz ein. Der zyklische Aufbau der Schichtenfolge ist nur regional bzw. reliktisch ausgeprägt. Vereinfacht kann von einer Zweiteilung in feinkörnigen Bausandstein und tonige Grenzschichten ausgegangen werden. Die Mächtigkeit beträgt im Norddeutschen Becken bis zu 110 m.

2.4 Oberer Buntsandstein/Röt

Der Obere Buntsandstein beginnt mit dem Einsetzen des Rötsalinars bzw. seiner randlichen Faziesäquivalente. Mit Beginn der Röt-Formation (s7-Folge) wurde das Klima wieder arid, was mächtige Evaporite anzeigen. Eine Schollenkippung verschloss im Röt die Nordseestraße. Stattdessen öffneten sich im Süden mit der Karpatischen und der Oberschlesischen Pforte neue Verbindungen zum Neotethys-Ozean. Die Sedimente sind Ablagerungen eines großen Playa-Sees, in den jedoch mehrfach Meeresvorstöße einbrachen (**»10**). Während der tiefere Teil der Röt-Formation in weiten Beckenbereichen durch mächtige Evaporite (Anhydrit, Gips, Steinsalz) charakterisiert ist, dominieren im höheren Teil stärker tonig-mergelige Sedimente, die schon zu den überlagernden Gesteinen der Muschelkalk-Gruppe überleiten (**»11**). Hier kamen vor allem dolomitische Tonmergel zum Absatz. Im Beckenzentrum mit eingelagerten Evaporiten werden Mächtigkeiten

Photo/Foto: Krakow

»11 Upper Röt with the border to the overlying Muschelkalk/Egge Hills (2013)

»11 Oberstes Röt mit der Grenze zum überlagernden Muschelkalk/Eggegebirge (2013)

Photo/Foto: Krakow

»12 Massive gypsum in strata and on joints. The sudden demise of the Hölle Brickworks at the beginning of the 1970s, Eichsfeld (1988)

»12 Massiver Gips in Schichten und auf Trennflächen. Das jähe Ende der Ziegelei Hölle zu Beginn der Siebzigerjahre/Eichsfeld (1988)

In several brickworks, the Buntsandstein is used as a plant-internal basic raw material. Processing is usually conventional, that means semi-wet/plastic in pan mills and roller mills. In the production of clay roofing tiles, dry processing can be necessary in individual cases to minimize the danger of lime spalling. On account of the diagenetic consolidation, the Buntsandstein generally exhibits low interstitial water, which is advantageous for excessively wet bodies. Correlated with this degree of diagenesis are slightly to at most medium-plastic properties.

The illite/mica dominance of the mineral paragenesis with extensive absence of expansive three-layer silicates is reflected in a low drying and preheating sensitivity. During the firing process, the potassium from the illite/mica acts as a flux. The sedimentation in desert-like conditions is reflected, for example, in the almost total absence of organically bound carbon. This often optimizes the production process considerably. The refractoriness of the Buntsandstein clays is usually good to satisfactory. In the cases of deposits in the Osnabrück region, however, significantly higher contents of sodium can lead to a very narrow sintering interval. The input of sodium feldspar from crystalline supply areas, with the simultaneous substitution of quartz can be regarded as the geological cause.

Especially the type and amount of carbonate determine the specific use of the Buntsandstein clays in the clay brick and roofing tile industry. Largely carbonate-free deposits are used as basic components with up to around 40 % batch content in the roofing tile industry, a low content of finely distributed carbonates has to be accepted and can be advantageous with regard to certain issues. Roofing tile raw materials come mostly from the Bernburg formation and the Röt. A special geological significance is reserved for the Walpernhainer clay, which is used as a raw material for roofing tiles and can be classified as part of the Volpriehausen alternation. On the other hand, dolomitic-marly clays with finely distributed carbonate are used in the production of backing bricks. A string of plants process layers of the Calvörde, Bernburg and Röt formation. Here there is also significant body raw material potential for the clay brick and tile industry (»3).

von bis zu rund 350 m erreicht, ohne Evaporite etwa 200 m.

3 Aspekte zum Einsatz in der Ziegelindustrie

3.1 Rohstoffgeologische und mineralogische Charakteristik

Die Gesteine des Buntsandstein sind in Abhängigkeit von der geologischen Versenkungstiefe gering bis mittelstark verfestigt. Der Gesteinsverband ist meistens söhlig, kann jedoch auch flach bis steil gelagert sein. Er weist in der Regel ein deutliches Trennflächengefüge auf, das aus Schicht- und Kluftflächen besteht. Die Trennflächen können massiv mit Karbonaten oder Sulfaten mineralisiert sein, was den Einsatz in der Ziegelindustrie einschränkt bis verbietet (»12). Darüber hinaus können harte Sandstein- und Dolomitbänke den tonigen Schichtverband empfindlich stören.

Das Lösen erfolgt meistens ohne Sprengen durch Abschieben mit Raupen/Schürfkübelraupen, in einigen Fällen auch selektiv mithilfe leistungsstarker Hydraulikbagger. Idealerweise wird das Material nach der Gewinnung auf Körnungen von etwa 0/60 mm vorgebrochen, um eine Durchmischung der kleinzyklischen petrografischen Varietäten sicher zu gewährleisten. Für den Einsatz in der Klinker- und Dachziegelindustrie kann eine selektive Aussonderung dolomitischer oder gar evaporitischer Partien erforderlich werden.

In mehreren Ziegelwerken wird der Buntsandstein als werkseigener Basisrohstoff eingesetzt. Die Aufbereitung erfolgt üblicherweise konventionell, das heißt halbnass/plastisch über Kollergang und Walzwerke. Bei der Dachziegelherstellung kann im Einzelfall eine Trockenaufbereitung erforderlich werden, um die Gefahr von Kalkabsprengungen zu minimieren. Aufgrund der diagenetischen Verfestigung weist der Buntsandstein allgemein geringe Bergfeuchten auf, was für den Einsatz in überfeuchteten Massen von Vorteil ist. Mit dem Diagenesegrad korreliert sind die leicht- bis allenfalls mittelplastischen Eigenschaften.

Die Illit/Glimmer-Dominanz der Mineralparagenese spiegelt sich bei weitgehendem Fehlen von expansiven Dreischichtsilikaten in einer geringen Trocknungs- und Aufheizempfindlichkeit wider. Beim Brennprozess wirkt das Kalium aus den Illiten/Glimmern als Flussmittel. Die Sedimentation unter wüstenartigen Bedingungen spiegelt sich unter anderem auch in dem nahezu vollständigen Fehlen

Photo/Foto: Krakow

»13 Ready for delivery to the brickworks: On-site precrushed and homogenized marly argillaceous rock from the Bernburg formation/Typus-Region Bernburg (2016)

»13 Zur Auslieferung in die Ziegelwerke bereit: Stationär vorgebrochener und homogenisierter Mergeltonstein der Bernburg-Formation/Typus-Region Bernburg (2016)

3.2 Field impressions and example locations

In the argillaceous rock surface mine Peissen Sued/Typus-Region Bernburg, dolomitic marly clay stone of the Bernburg formation is extracted. The overconsolidated material is only slightly diagenetically consolidated. After extraction, the marly argillaceous rock is homogenized in a stationary roller crusher and precrushed to a size of 0/60 mm (»13). Large approved reserves and a proper extraction management makes the operation a reliable raw materials supplier for regional brickworks and elsewhere in Germany.

A special position is reserved for the kaolinized arkoses of the Middle Buntsandstein, which are formed by in-depth feldspar weathering, for example in the Halle/Saale and Hirschau-Schnaittenbach/Upper Palatinate districts, but also at locations around Kahla/Jena and Fürstenberg in the Solling. In the clay brick and tile industry, processed kaolins are used especially in the production of light- to white-firing clay brick products. Moreover, they are used as a regulator in the Westerwald bodies and in the production of speciality backing bricks. The Hirschau-Schnaittenbach district is one of the most important kaolin deposits in Europe (»14).

Photo/Foto: Amberger Kaolinwerke Eduard Kick GmbH & Co. KG

»14 A weathered deposit of international calibre, Hirschau-Schnaittenbach kaolin district (2016)

»14 Eine Verwitterungslagerstätte von internationalem Rang/Kaolinrevier Hirschau-Schnaittenbach (2016)

von organisch gebundenem Kohlenstoff wider. Dies optimiert den Produktionsprozess oft maßgeblich. Die Feuerstandsfestigkeit der Buntsandsteintone ist meistens gut bis ausreichend. Bei Vorkommen im Osnabrücker Raum können jedoch signifikant erhöhte Gehalte an Natrium zu einem sehr engen Sinterintervall führen. Der Eintrag von Natriumfeldspat aus kristallinen Liefergebieten, bei gleichzeitiger Substitution von Quarz, ist hier als geologische Ursache anzusehen.

Vor allem die Art und der Anteil der Karbonatführung entscheiden über die spezifische Verwendung der Buntsandsteintone in der Ziegelindustrie. Weitgehend karbonatfreie Vorkommen werden als Basiskomponenten von bis zu rund 40 % Versatzanteil in der Dachziegelindustrie eingesetzt, wobei geringe Anteile an feinverteilten Karbonaten zu akzeptieren sind und im Hinblick auf bestimmte Fragestellungen auch von Vorteil sein können. Dachziegelrohstoffe stammen überwiegend aus der Bernburg-Formation und dem Röt. Eine geologische Sonderstellung nimmt der Walpernhainer Ton ein, der als Dachziegelrohstoff eingesetzt wird und der Volpriehausen-Wechselfolge zuzuordnen ist. Dolomitisch-mergelige Tone mit feinverteiltem Karbonat werden dagegen bei der Herstellung von Hintermauerziegeln eingesetzt. Eine Reihe von Werken verarbeitet Schichten der Calvörde-, Bernburg- und Röt-Formation. Hier finden sich auch die bedeutenden Massenrohstoffpotenziale für die Ziegelindustrie (»3).

3.2 Praxisimpressionen und exemplarische Standorte

Im Tonsteintagebau Peißen Süd/Typus-Region Bernburg werden dolomitische Mergeltonsteine der Bernburg-Formation abgebaut. Das überkonsolidierte Material ist diagenetisch nur gering verfestigt, was von Vorteil ist. Nach der Gewinnung wird der Mergeltonstein über einen stationären Walzenbrecher homogenisiert und auf eine Körnung 0/60 mm vorgebrochen (»13). Große bewilligte Vorräte und eine fachgerechte Abbauführung machen den Betrieb zu einem verlässlichen Rohstofflieferanten für regionale und überregionale Ziegelwerke.

Eine Sonderstellung nehmen kaolinitisierte Arkosen des Mittleren Buntsandstein ein, die durch tiefgründige Feldspat-Verwitterung entstanden sind, so etwa in den Revieren von Halle/Saale und Hirschau-Schnaittenbach/Oberpfalz, aber auch punktuell wie bei Kahla/Jena und Fürstenberg im Solling. In der Ziegelindustrie finden aufbereitete Kaoline vor allem bei der Herstellung von hell- bis weißbrennenden Klinkerprodukten Verwendung. Darüber hinaus werden sie als Regulativ in Westerwälder Massen und bei der Produktion bei besonderen Hintermauerziegeln eingesetzt. Das Revier Hirschau-Schnaittenbach zählt zu den wichtigsten Ka-

» **Survey of examples** Locations of brickworks and clay pits as well as sites with phyllosilicate co-products (now closed or untouched locations as well as **active sites**)

Sites of brickworks/clay pits as well as by-products in the Röt:
06449 Königsaue, **07607 Eisenberg I**, 07751 Wogau, **34414 Bonenburg**, 34414 Volkmarsen, 36272 Niederaula, 36277 Schenklengsfeld, 36419 Wenigentaft, 37136 Ebergötzen, 37355 Deuna, **37586 Hilwartshausen**, 64720 Michelstadt, **74722 Buchen-Hainstadt**, 79312 Emmendingen, 96528 Schlakau, **97616 Bad Neustadt**, 98660 Themar, 98673 Brattendorf, 99310 Dosdorf, 99326 Trassdorf, 99438 Bad Berka

Sites of brickworks/clay pits as well as co-products in the Middle Buntsandstein:
06179 Etzdorf, **06237 Spergau**, 06406 Baalberge, **07613 Eisenberg II/ Walpernhain**, 07768 Kahla, 36367 Angersbach, 37127 Löwenhagen, 37345 Großbodungen, 37355 Niederorschel, 37699 Fürstenberg, 63683 Ortenberg, **92253 Schnaittenbach**

Sites of brickworks/clay pits as well as co-products in the Lower Buntsandstein:
06408 Peissen, 06425 Beesenlaubingen, 07333 Unterwellenborn, 07381 Pössneck, 07387 Rockendorf, **07554 Gera/Aga**, 07554 Gera/ Cretzschwitz, 07586 Caaschwitz, **34474 Orpethal**, **37115 Duderstadt I & II**, 37115 Westerode, **37339 Ferna**, **37339 Teistungen**, 37345 Zwinge, **37434 Bilshausen**, 39448 Westeregeln, 99706 Sondershausen, **99734 Nordhausen**, 07806 Neustadt an der Orla

Sites of brickworks/clay pits as well as co-products in the Buntsandstein (ungrouped or stratigraphically unclassified):
49090 Pye, **49170 Natrup-Hagen**, **49509 Recke**, **49586 Limbergen**

olinvorkommen in Europa (»14).

» **Exemplarische Zusammenstellung** Lokalitäten von Ziegelwerken und Tongruben sowie Standorte mit phyllosilikatischen Koppelprodukten (mittlerweile geschlossene oder unverritzte Lokalitäten sowie **aktive Standorte**)

Standorte von Ziegelwerken/Tongruben sowie von Koppelprodukten im Röt:
06449 Königsaue, **07607 Eisenberg I**, 07751 Wogau, **34414 Bonenburg**, 34414 Volkmarsen, 36272 Niederaula, 36277 Schenklengsfeld, 36419 Wenigentaft, 37136 Ebergötzen, 37355 Deuna, **37586 Hilwartshausen**, 64720 Michelstadt, **74722 Buchen-Hainstadt**, 79312 Emmendingen, 96528 Schlakau, **97616 Bad Neustadt**, 98660 Themar, 98673 Brattendorf, 99310 Dosdorf, 99326 Traßdorf, 99438 Bad Berka

Standorte von Ziegelwerken/Tongruben sowie von Koppelprodukten im Mittleren Buntsandstein:
06179 Etzdorf, **06237 Spergau**, 06406 Baalberge, **07613 Eisenberg II/ Walpernhain**, 07768 Kahla, 36367 Angersbach, 37127 Löwenhagen, 37345 Großbodungen, 37355 Niederorschel, 37699 Fürstenberg, 63683 Ortenberg, **92253 Schnaittenbach**

Standorte von Ziegelwerken/Tongruben sowie von Koppelprodukten im Unteren Buntsandstein:
06408 Peißen, 06425 Beesenlaubingen, 07333 Unterwellenborn, 07381 Pößneck, 07387 Rockendorf, **07554 Gera/Aga**, 07554 Gera/ Cretzschwitz, 07586 Caaschwitz, **34474 Orpethal**, **37115 Duderstadt I & II**, 37115 Westerode, **37339 Ferna**, **37339 Teistungen**, 37345 Zwinge, **37434 Bilshausen**, 39448 Westeregeln, 99706 Sondershausen, **99734 Nordhausen**, 07806 Neustadt an der Orla

Standorte von Ziegelwerken/Tongruben sowie von Koppelprodukten im Buntsandstein (ungegliedert bzw. stratigrafisch nicht zu klassifizieren):
49090 Pye, **49170 Natrup-Hagen**, **49509 Recke**, **49586 Limbergen**

4 Final remarks

In-depth knowledge of historical and current Buntsandstein research is compiled in the 657-page monography of the Buntsandstein [7]. In this paper, at various points in the text, direct reference is made to the monography. This applies particularly to the papers of [2, 3, 6]. The monography was published in the year 2013 in the series of publications of the German Society of Geosciences and can be especially recommended in the systematic search for new clay deposits. For the provision of information on the Walpernhain clay, sincere thanks go to Dr. Elmar Werling, Braas GmbH.

4 Schlussbemerkungen

Profunde Erkenntnisse historischer und aktueller Buntsandsteinforschung sind in der 657 Seiten starken Monografie des Buntsandstein zusammengetragen [7]. Im hier vorliegenden Beitrag wird inhaltlich an verschiedenen Stellen des Textes auf die Monografie direkt Bezug genommen. Dies trifft insbesondere auf die Beiträge von [2, 3, 6] zu. Die Monografie wurde im Jahr 2013 in der Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften herausgegeben und kann bei der systematischen Suche neuer Tonlagerstätten besonders empfohlen werden. Für die Überlassung von Informationen zum Walpernhain Ton sei Dr. Elmar Werling, Braas GmbH, herzlich gedankt.

References/Literatur

[1] Menning, M. & Käding, K. – C. (2013): 6. Magnetostratigraphie, Zyklostratigraphie, geologische Zeitskala und Nomenklatur des Buntsandstein von Mitteleuropa. - In: Stratigraphie von Deutschland XI Buntsandstein. – Deutsche Stratigraphische Kommission, Hrsg., Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, Heft 69, 165-212, Hannover, ISBN 978-3-510-49229-9

[2] Paul, J. & Puff, P. (2013): 7.1 Das Klima des Buntsandstein. - In: Stratigraphie von Deutschland XI Buntsandstein. – Deutsche Stratigraphische Kommission, Hrsg., Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, Heft 69, 213-221, Hannover, ISBN 978-3-510-49229-9

[3] Röhling, H.- G. & Lepper, J. (2013): 3. Paläogeographie des Mitteleuropäischen Beckens während der tieferen Trias (Buntsandstein). - In: Stratigraphie von Deutschland XI Buntsandstein. – Deutsche Stratigraphische Kommission, Hrsg., Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, Heft 69, 43-67, Hannover, ISBN 978-3-510-49229-9

[4] Meschede, M. (2015): Geologie Deutschlands. – 249 S., Springer Verlag, Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-662-45297-4

[5] Brinkmann, R. (1977): Brinkmanns Abriß der Geologie. – Bd. II. Historische Geologie. – 400 S., 10./11. Aufl., Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, ISBN 3-432-80600-0

[6] Lepper, J.; Rambow, D. & Röhling, H.-G. (2013): 4. Lithostratigraphie des Buntsandstein in Deutschland. - In: Stratigraphie von Deutschland XI Buntsandstein. – Deutsche Stratigraphische Kommission, Hrsg., Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, Heft 69, 69-150, Hannover, ISBN 978-3-510-49229-9

[7] Lepper, J. & Röhling, H.-G.: (2013): Stratigraphie von Deutschland XI Buntsandstein. – Deutsche Stratigraphische Kommission (Hrsg.), Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft der Geowissenschaften, Heft 69, 657 S., Stuttgart, ISBN 978-3-510-49229-9