

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

Current clay potential in Germany

Part 5: Raw materials from the Keuper group/Trias system

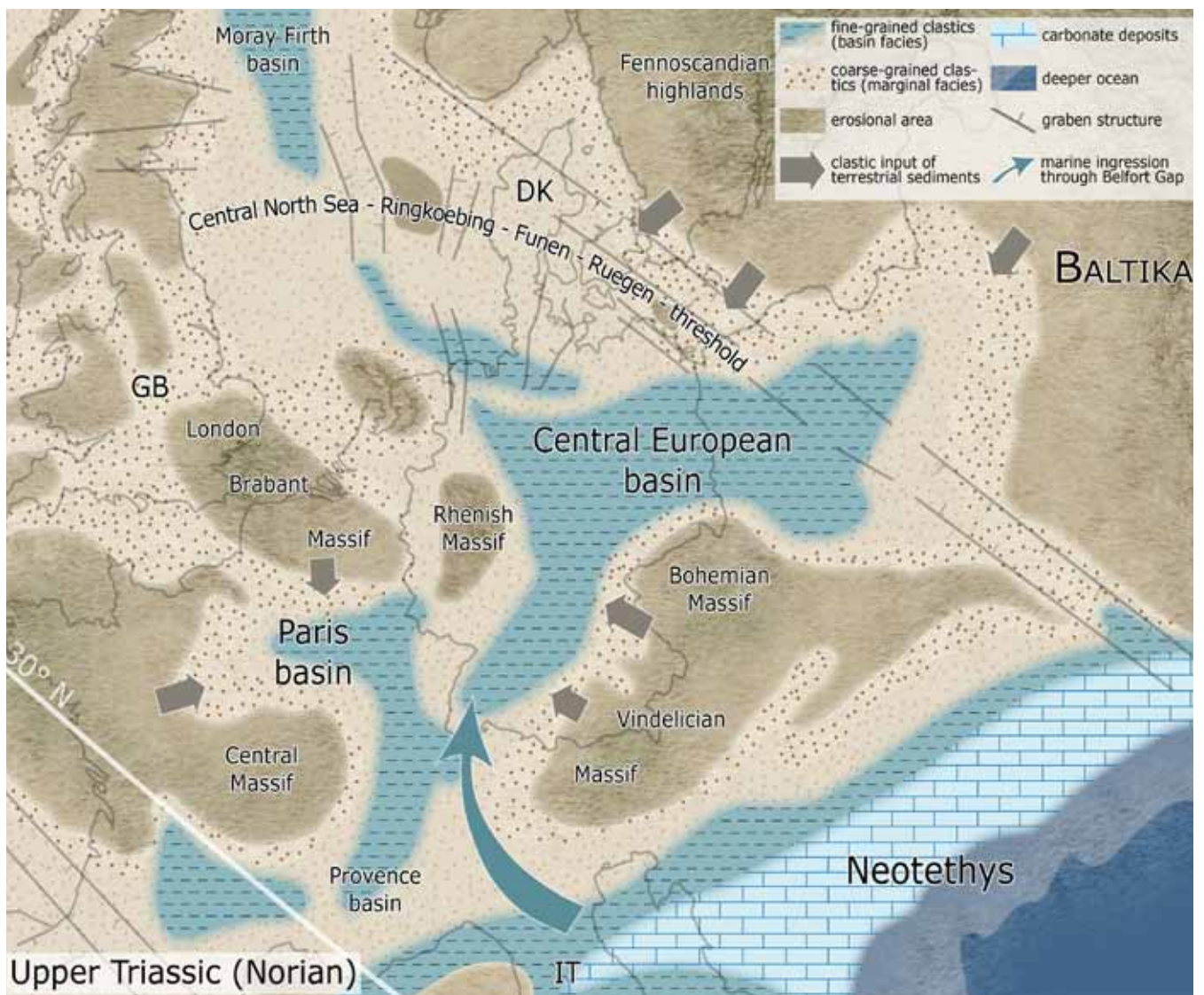
EurGeol Dr. rer. nat. Lutz Krakow und Dipl.-Geol. Franziska Schunke

Aktuelles Tonpotenzial von Deutschland

Teil 5: Rohstoffe aus der Gruppe des Keuper/System Trias

Keuper clays with optimized grain size range used to be the magic ingredient for entire clay brick conglomerates and proud brick manufacturers. In the meantime, modified raw material requirements have contributed to the closures of numerous works sites. Currently, the Keuper constitutes an existential raw materials basis primarily for clay roofing tile plants in Franconia and Thuringia. What will the future look like?

Früher waren kornbandoptimierte Keupertone das Zaubermittel ganzer Ziegelkombinate und stolzer Ziegelfabrikanten. Mittlerweile haben modifizierte Rohstoffanforderungen zur Schließung zahlreicher Werksstandorte beigetragen. Aktuell stellt der Keuper vor allem für Dachziegelwerke in Franken und Thüringen die existenzielle Rohstoffbasis dar. Wie wird die Zukunft aussehen?



»1 Palaeogeographic position and structure of the Central European Basin at the time of the Middle Keuper, modified and extended model according to [1]

»1 Paläogeografische Lage und Struktur des Zentraleuropäischen Beckens zur Zeit des Mittleren Keuper, modifiziertes und ergänztes Modell nach [1]

1 Global geology and tectonics

After the Buntsandstein (Lower Triassic) and Muschelkalk (Middle Triassic), the Keuper (Upper Triassic) represents the third lithostratigraphic group of the German Triassic. It is covered by sequences from the Lower Jurassic. The name is derived from the Franco-German dialect word "Keiper/Kieber", originally referring to variegated, crumbly argillaceous rocks. In the year 1822, Leopold von Buch introduced the term Keuper into geoscientific literature. With a good 35 million years, the Keuper covers the longest period in the Triassic. The Keuper began around 235.0 mill. years ago and ended around 199.6 mill. years ago.

In plate tectonic terms, the development was determined by the further breakup of the Pangaea supercontinent and the associated rifting processes. The position and differences of the Central European Basin still corresponded largely to that

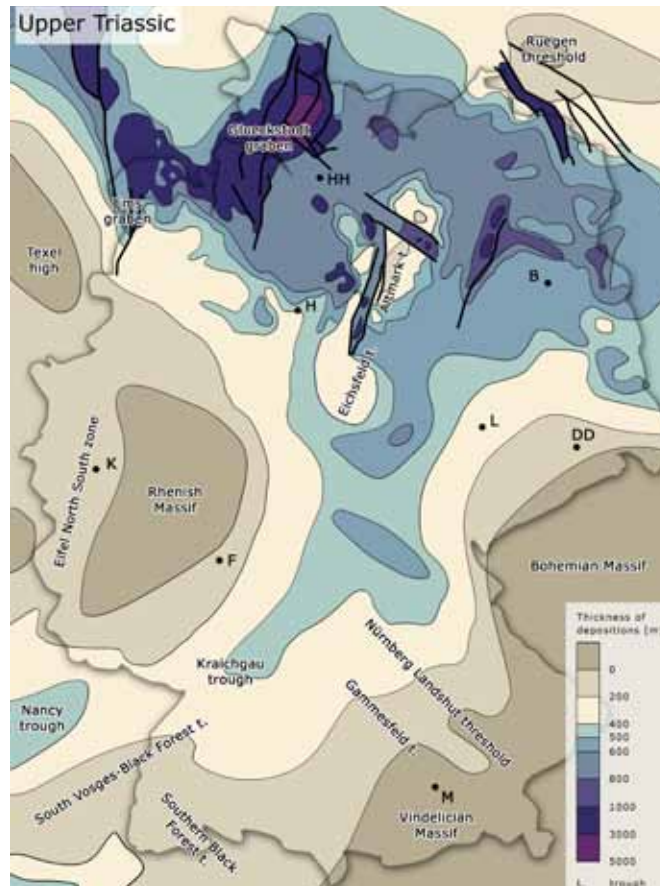
of the Buntsandstein. However, the morphological relief had become wider and flatter. This favoured marine ingressions and fine clastic sedimentation. The Central European Keuper Basin extends over around 1500 km from England in the west as far as Poland in the east and over around 1000 km in the north-south direction from Southern Sweden to Northern Switzerland. For a time, it was connected to the Neotethys Ocean via the Belfort Gap (»1).

At the time of the Keuper, Central Europe lay on the northern hemisphere in the sub-tropical zone. The polar caps were ice-free and the global mean temperature of the atmosphere was higher than today. As already in the Buntsandstein, the initially still desert-like climate brought forth typical playa sequences [2]. These include primarily pelitic red beds and evaporites. Later, as a result of prolonged periods of rain, fluvial sands were deposited, which interlock with fine clastic and chemical sediments of the basin facies. The delivery areas were primarily Scandinavia and the Vindelician-Bohemian Massif.

2 Main areas and lithostratigraphic clay potential

2.1 Distribution and grouping principles

The Keuper deposits are distributed over almost all of Germany. In the southern and central parts of the basin, the thicknesses vary between 100 and 400 m. Only in isolated troughs are thicknesses up to 500 m reached (»2). In the Northern German Basin, the thickness varies between 600 and 800 m. In trench systems like the Glückstadt Trench, it can even reach over 5000 m. In barrier regions, it is reduced to less than 100 m.



»2 Thickness distribution of the Keuper – reconstruction from over 2500 deep borings and numerous surface exposures, modified model from [1]

»2 Aus über 2500 Tiefbohrungen und zahlreichen Tagesaufschlüssen rekonstruierte Mächtigkeitsverteilung des Keuper, modifiziertes Modell aus [1]

1 Globale Erdgeschichte und Tektonik

Nach Buntsandstein und Muschelkalk repräsentiert der Keuper die dritte lithostratigraphische Gruppe der Germanischen Trias. Er wird von Schichtfolgen des Lias/System Jura überlagert. Der Name leitet sich von der fränkischen Dialektbezeichnung „Keiper/Kieber“ ab, womit ursprünglich bunte, bröckelige Tongesteine gemeint waren. Im Jahre 1822 führte Leopold von Buch den Begriff Keuper in die geowissenschaftliche Literatur ein. Der Keuper umfasst mit gut 35 Millionen Jahren die längste Periode der Trias. Die Zeit des Keuper begann vor etwa 235,0 Mio. Jahren und endete vor rund 199,6 Mio. Jahren.

Plattentektonisch ist die Entwicklung vom weiteren Zerfall des Superkontinents Pangäa und damit verbundenen Riftingprozessen bestimmt. Die Lage und Differenzierung des zentral-europäischen Beckens entsprach dabei noch weitgehend der

des Buntsandstein. Jedoch ist das morphologische Relief weiter und flacher geworden. Hierdurch wurden marine Ingressionen und feinklastische Sedimentation begünstigt. Das mitteleuropäische Keuperbecken reicht über etwa 1500 km von England im Westen bis nach Polen im Osten und über etwa 1000 km in Nord-Süd-Richtung von Südschweden bis in die Nordschweiz. Zeitweise war es über die Burgundische Pforte mit dem Neotethys-Meer verbunden (»1).

Zur Zeit des Keuper lag Mitteleuropa auf der Nordhalbkugel in der Zone der Subtropen. Die Polkappen waren eisfrei und die globale Mitteltemperatur der Atmosphäre war höher als heute. Wie schon im Buntsandstein, brachte das zunächst noch wüstenartige Klima typische Playa-Sequenzen hervor [2]. Hierzu zählen vor allem pelitische Rotsedimente und Evaporite. Später wurden infolge von lang anhaltenden Regenzeiten fluviale Sande geschüttet, die sich mit feinklastischen und chemischen Sedimenten der Beckenfazies verzahnen. Liefergebiete waren vor allem Skandinavien und das Vindelizisch-Böhmische Massiv.

2 Hauptgebiete und lithostratigraphische Tonpotenziale

2.1 Verbreitung und Gliederungsprinzipien

Die Ablagerungen des Keuper sind über fast ganz Deutschland verbreitet. In den südlichen und mittleren Beckenteilen schwanken die Mächtigkeiten zwischen 100 und 400 m. Nur in einzelnen Trögen werden Mächtigkeiten bis 500 m erreicht (»2). Im norddeutschen Becken variiert die Mächtigkeit zwischen 600 und 800 m. In Grabensystemen wie dem Glückstadtgraben kann sie auch über 5000 m erreichen. In Schwellenregionen geht sie auf unter 100 m zurück.



- »3 K1 Sequence: Lower Lettenkohlen Keuper in the clay pit of the former brickworks ELM-Poroton in Schöningen/Subhercynian Basin
- »3 K1-Folge: Unterer Lettenkohlenkeuper in der Tongrube des ehemaligen Ziegelwerkes ELM-Poroton in Schöningen/Subhercynian Becken



- »4 K1 Sequence: Upper Lettenkohlen Keuper in the clay pit of the former brickworks ELM-Poroton in Schöningen/Subhercynian Basin
- »4 K1-Folge: Oberer Lettenkohlenkeuper in der Tongrube des ehemaligen Ziegelwerkes ELM-Poroton in Schöningen/Subhercynian Becken

Close to the surface, the Keuper outcrops primarily in the Central and Southern parts of Germany. In the Northern German Lowlands, it is, with certain exceptions, covered by thick surface layers. Important areas are: The Southern German Block with a surface exposure area covering around 20 000 km². The Osnabrück/Weser-Bergland with a size of around 2 400 km². The central part of the Thuringian Basin forms a deposit of around 2 000 km². Isolated surface exposures are found in the Subhercynian Basin, in the Lower Rhine Basin and trench structures such as the Leinetal Trench or the Upper Rhine Valley Trench [1]. Distribution by German states is as follows: Bavaria, Thuringia, Lower Saxony, North Rhine-Westphalia, Saxony-Anhalt, Baden-Württemberg, Hesse, Rhineland-Palatinate.

In the many years of research into the Keuper, numerous stratigraphic divisions have been drawn up. A new division covering all of Germany was presented by the Keuper Working Group of the German Stratigraphic Commission in 2005 [3]. On the basis of the eponymous type localities, the basin facies of the Keuper group is subdivided into three subgroups and six lithostratigraphic formations. In the marginal facies, a differentiation into nine formations results.

2.2 Lower Keuper

The Lower Keuper was deposited in a short time of just around 2.5 mill. years in limnic-brackish to shallow marine conditions. It comprises the Erfurt formation (k1 Sequence, Lettenkohlen Keuper), which, on account of impure coal and plentiful plant chaff, is also referred to as Lettenkohlenkeuper. In the Keuper, the Muschelkalk Sea was successively replaced by a wide delta landscape with depressions without any outlets. As a result of short-term marine incursions, the clayey-sandy base beds were repeatedly interrupted by dolomitic rock layers. The incursions came through the Belfort Gap in the southwest.

The Lower Lettenkohlen sandstone consists of dark grey and red-variegated clay/siltstones, which are characterized by cyclically washed-in light-coloured fine sand layers/lenses and mica

Oberflächennah tritt der Keuper vor allem im mittleren und südlichen Teil Deutschlands zutage. Im norddeutschen Tiefland ist er, von Ausnahmen abgesehen, durch mächtige Deckschichten verhüllt. Wichtige Gebiete sind: die süddeutsche Großscholle mit einem Tagesaufschlussgebiet von rund 20 000 km². Das Osnabrücker-/Weserbergland mit einer Größe von rund 2 400 km². Der zentrale Teil des Thüringer Beckens bildet ein Vorkommen von etwa 2 000 km². Einzelne Tagesaufschlüsse finden sich im Subhercynian Becken, in der Niederrheinischen Bucht und in Grabenstrukturen wie dem Leinetalgraben oder dem Oberrheintalgraben [1]. Die Verbreitung nach Bundesländern ist: Bayern, Thüringen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Sachsen-Anhalt, Baden-Württemberg, Hessen, Rheinland-Pfalz.

In der langjährigen Forschungsgeschichte des Keuper sind zahlreiche stratigraphische Gliederungen erarbeitet worden. Eine länderübergreifende Neugliederung hat die Arbeitsgruppe Keuper der Deutschen Stratigraphischen Kommission 2005 vorgelegt [3]. Auf Basis von namengebenden Typuslokalitäten wird die Beckenfazies der Keuper-Gruppe danach in drei Untergruppen und sechs lithostratigraphische Formationen untergliedert. In der Randfazies ergibt sich eine Differenzierung in neun Formationen.

2.2 Unterer Keuper

Der Untere Keuper wurde in einer kurzen Zeitspanne von nur etwa 2,5 Mio. Jahren unter limnisch-brackischen bis flachmarinen Bedingungen abgelagert. Er umfasst die Erfurt-Formation (k1-Folge, Lettenkohlenkeuper), die aufgrund unreiner Kohlen und zahlreicher Pflanzenhäcksel auch als Lettenkohlenkeuper bezeichnet wird. Im Keuper trat an die Stelle des Muschelkalkmeeres sukzessive eine weite Deltalandschaft mit abflusslosen Senken. Infolge von kurzzeitigen marinen Ingressionen wurden die tonig-sandigen Basisschichten aber immer wieder durch dolomitische Steinlagen unterbrochen. Die Ingressionen erfolgten durch die Burgundische Pforte im Südwesten.

Der Untere Lettenkohlen sandstein besteht aus dunkelgrauen und rotbunten Ton-/Schluffsteinen, die durch zyklisch ein-



Photo/Foto: Krakow (2008)



Photo/Foto: Krakow (2014)

»5 K4 Sequence: Upper Gypsum Keuper with white gypsum residues in the clay pit of the former Unipor Brickworks in Friedland/Leinetal Trench

»5 K4-Folge: Oberer Gipskeuper mit weißen Gipsresiduen in der Tongrube des ehemaligen Unipor-Ziegelwerkes Friedland/Leinetalgraben

»6 K6 Sequence: Upper Rhaetic Keuper as the company's own basic component of a leading brickworks in North Rhine-Westphalia/Egge Hills

»6 K6-Folge: Oberer Rhätkeuper als werkseigene Basiskomponente eines führenden Ziegelwerkes in Nordrhein-Westfalen/Eggegebirge

soaps [4]. Massive dolomite beds alternating with dark grey clay marl stone and bilious green clay stones characterize the rock formations of the main dolomite (»3). This is covered by clayey-marly beds of the Lower Bunter Marl and clayey-sandy beds of the Upper Lettenkohlen sandstone. The Upper Bunter Marl introduce the transition to the Middle Keuper (»4). The Erfurt formation is around 60 to 80 m thick in basin facies. The top of the sequence is marked by the shallow marine peripheral dolomites.

2.3 Middle Keuper

The Middle Keuper constitutes in increasingly arid climates a time period with a stronger continental influence within the German Triassic. Shallow waters and temporary lakes take up large areas [5]. Variegated siltstone and dolomitic clay marlstone form the main mass of the sediment. During a period of around 29 mill. years, a total of four formations were deposited.

By the beginning of the Grabfeld formation (k2 Sequence, Lower Gypsum Keuper), the shallow inland sea that had formed at the end of the Lower Keuper had largely evaporated. In an evaporite-playa environment, alternate strata of dolomitic clay marls and gypsum were deposited [6]. In the lower part, the complex strata contain numerous bands of gypsum/gypsum residues, from which the name Gypsum Keuper and banded marl are derived. In some places, up to 15-m-thick basinal gypsum beds were formed [7]. On top follow thick dolomitic clay/marlstone series with nodular sulphate intrusions. The thickness of the Grabfeld formation varies in the basin facies between 150 and 220 m.

Then, in extensive river and trench systems, the 40- to 60-m-thick Stuttgart formation was deposited (k3 Sequence, Reed Sandstone). The reason was a more humid climate and persisting precipitation. The Reed Sandstone gets its name from fossil horsetail grass residue, which was erroneously identified as reeds. In river channels/flood facies, fluvial sand banks from Scandinavian delivery areas were sedimented. On flood plains/stagnant water facies, primarily silts and clays settled. In the

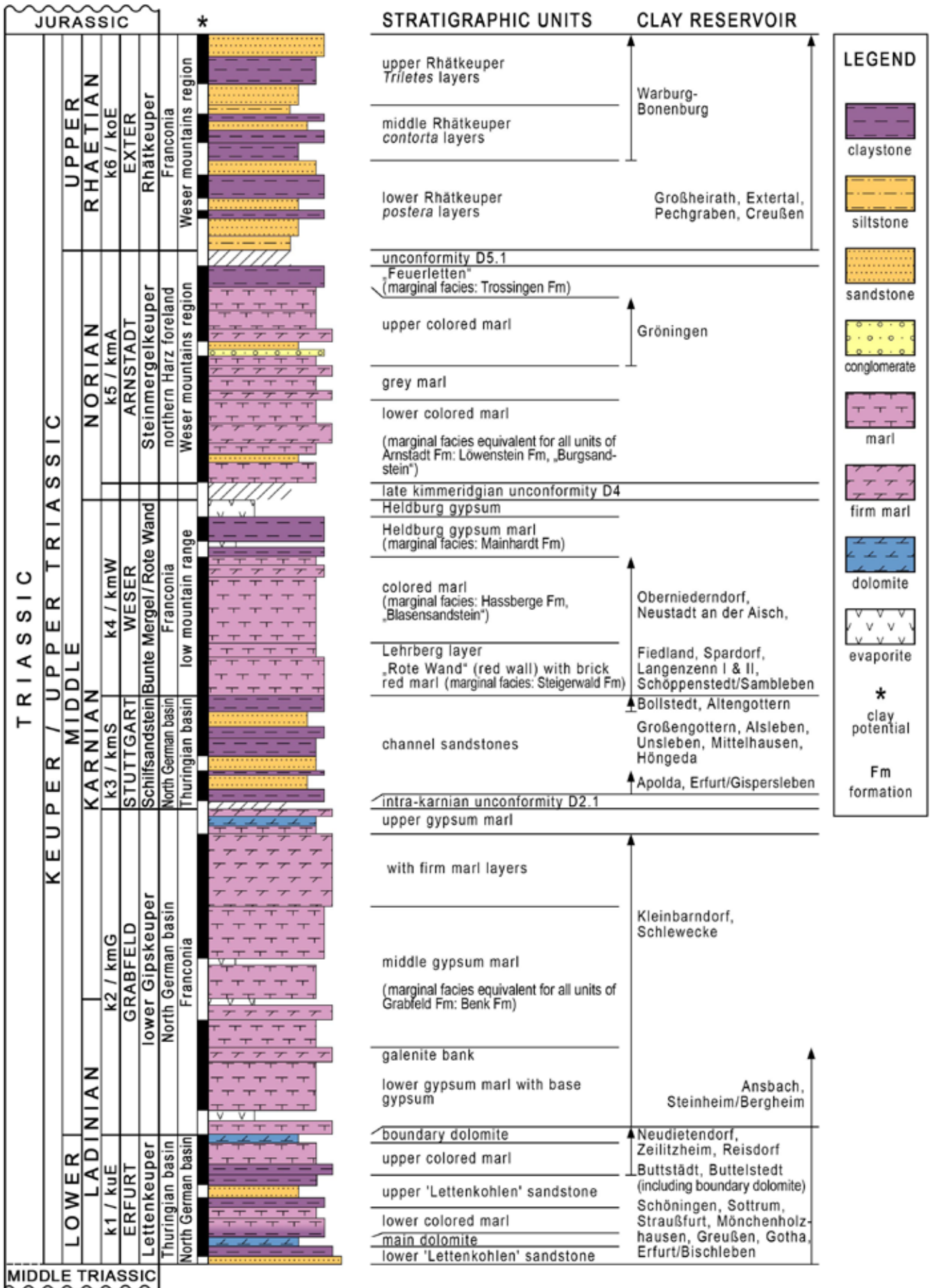
geschwemmte helle Feinsandlagen/Linsen und Glimmerseifen charakterisiert sind [4]. Massive Dolomitbänke im Wechsel mit dunkelgrauen Tonmergelsteinen und giftgrünen Tonsteinen kennzeichnen die Gesteinseinheit des Hauptdolomits (»3). Dieser wird von tonig-mergeligen Schichten der Unteren Bunten Mergel und von tonig-sandigen Schichten des Oberen Lettenkohlsandsteins überlagert. Die Oberen Bunten Mergel leiten den Übergang zum Mittleren Keuper ein (»4). Die Erfurt-Formation ist in Beckenfazies rund 60 bis 80 m mächtig. Das Top der Abfolge wird durch den flachmarinen Grenzdolomit markiert.

2.3 Mittlerer Keuper

Der Mittlere Keuper repräsentiert unter zunehmend ariden Klimaten eine stärker kontinental beeinflusste Zeitspanne innerhalb der deutschen Trias. Seichte Gewässer und temporäre Seen nehmen größere Flächen ein [5]. Bunte Schluffsteine und dolomitische Tonmergelsteine bilden die Hauptmasse der Sedimente. Während eines Zeitraumes von etwa 29 Mio. Jahren wurden insgesamt vier Formationen abgelagert.

Zu Beginn der Grabfeld-Formation (k2-Folge, Unterer Gipskeuper) wurde das flache Binnenmeer, das sich zum Ausklang des Unteren Keuper gebildet hatte, weitgehend eingedampft. In einem Evaporit-Playa-Milieu kamen Wechselfolgen von dolomitischen Tonmergeln und Gips zum Absatz [6]. Im unteren Teil enthält der Schichtkomplex zahlreiche Gipsbänder/Gipsresiduen, woraus sich die Namen Gipskeuper und Bändermergel ableiten. Örtlich haben sich bis zu 15 m mächtige Grundgips-schichten gebildet [7]. Darüber folgen mächtige dolomitische Ton-/Mergelsteinserien mit eingelagerten Sulfatknollen. Die Mächtigkeit der Grabfeld-Formation schwankt in Beckenfazies zwischen 150 und 220 m.

Danach kam es in weit verzweigten Fluss- und Rinnensystemen zur Ablagerung der 40 bis 60 m mächtigen Stuttgart-Formation (k3-Folge, Schilfsandstein). Ursache waren ein feuchteres Klima und lang anhaltende Niederschläge. Namengebend für den Schilfsandstein sind fossile Schachtelhalmreste, die frü-



»7 Geological transect of the Keuper with assignment of locations
 »7 Geologisches Normalprofil des Keuper mit Zuordnung von Standorten

simplified model of Dr. Krakow Rohstoffe GmbH, 2017) vereinfachtes Modell der Dr. Krakow Rohstoffe GmbH, 2017



Photo/Foto: Krakow (2014)

»8 K4 Sequence in marginal facies: Lehrberg beds as a company-owned basic component of a well-known brickworks in Central Franconia/Southern German Block

»8 K4-Folge in Randfazies: Lehrbergschichten als werkseigene Basiskomponente eines namhaften Ziegelwerkes in Mittelfranken/Süddeutsche Großscholle



Photo/Foto: Krakow (2014)

»9 K4 Sequence in marginal facies: View of a spoil heap that essentially comprises the Hassberge Formation and Lehrberg Beds/Southern German Block

»9 K4-Folge in Randfazies: Blick auf eine Abraumhalde, die im Wesentlichen die Hassberge-Formation und Lehrbergbänke umfasst/Süddeutsche Großscholle

Thuringian Basin, the Reed Sandstone is widely distributed in stagnant water facies as silt/clay stone to friable fine sandstone. Characteristic are accessory impurities of carbonates and sulphates. The sequence consists mostly of a lower grey part (0 – 25 m) and an upper reddish brown part (8–35 m) [8]. The lower limit of the Reed Sandstone lies at the basis of the D2 discordance [9]. The upper limit is not sharp and is defined by the end of the silty-sandy sedimentation and onset of the gypsum content.

With the beginning of the Weser Formation (k4 Sequence, Upper Gypsum Keuper), the climate became hotter and dryer again. In wide shallow salt flats, red dolomitic marly clays and marl were sedimented. As a result of short-term flooding and evaporation, as in the Grabfeld formation, cyclic deposition of gypsum ensued. Because of the characteristic red colouring, the bottom part of the Weser formation is also referred to the Red Wall (»5). The upper part of the Weser formation is formed by hard dolomitic marl. The Weser formation is 100 to 150 m thick and is bordered at the cap of rock by the D4 discordance [10].

In Franconia and the Upper Palatinate, the Weser Formation goes over into its marginal facies equivalent and is laterally interlocked with the Steigerwald, Hassberge and Mainhardt formation. The Steigerwald formation comprises the Lehrberg beds, an around 30-m-thick sequence of dolomitic-marly claystone with intercalated marl Beds/Lehrberg Beds. The deposition of the Lehrberg Beds was completed in a salinar playa clay pan with frequent drying up [11]. The Lehrberg Beds are covered by bubble sandstone of the Hassberge formation. Unlike the Nordic Reed Sandstone, the sand was deposited from the Vindelician-Bohemian Massif. The Middle Keuper closes with the 100 to 150-m-thick Arnstadt formation (k5 Sequence, Marl Keuper). Because of the dominance of carbonates, this formation is largely unimportant for the clay brick and tile industry.

her irrtümlich als Schilf gedeutet wurden. In Flussrinnen/Flutfazies wurden fluviatile Sandstränge aus skandinavischen Liefergebieten sedimentiert. Auf Überflutungsflächen/Stillwasserfazies kamen vorwiegend Schluffe und Tone zum Absatz. Im Thüringer Becken liegt der Schilfsandstein weit verbreitet in Stillwasserfazies als Schluff-/Tonstein bis mürber Feinsandstein vor. Kennzeichnend sind akzessorische Beimengungen von Karbonaten und Sulfaten. Die Abfolge besteht meist aus einem unteren grauen (0-25 m) und einem oberen rotbraunen (8-35 m) Teil [8]. Die Untergrenze des Schilfsandstein liegt an der Basis der D2-Diskordanz [9]. Die Obergrenze ist unscharf und wird durch das Ende der schluffig-sandigen Sedimentation und das Einsetzen der Gipsführung definiert.

Mit Beginn der Weser-Formation (k4-Folge, Oberer Gipskeuper) wurde das Klima wieder heißer und trockener. In weiten flachen Salztonebenen wurden rote dolomitische Mergeltone und Steinmergel sedimentiert. Durch kurzzeitige Überflutungen und Eindampfung kam es wie in der Grabfeld-Formation zur zyklischen Ablagerung von Gips. Aufgrund der charakteristischen Rotfärbung wird der untere Teil der Weser-Formation auch als Rote Wand bezeichnet (»5). Den höheren Teil der Weser-Formation bilden harte dolomitische Steinmergel. Die Weser-Formation ist 100 bis 150 m mächtig und wird zum Hangenden durch die D4-Diskordanz begrenzt [10].

In Franken und der Oberpfalz geht die Weser-Formation in ihre Randfazies-Äquivalente über und ist lateral mit der Steigerwald-, Hassberge- und Mainhardt-Formation verzahnt. Die Steigerwald-Formation umfasst die Lehrbergschichten, eine etwa 30 m mächtige Abfolge von dolomitisch-mergeligen Tonsteinen mit eingeschalteten Steinmergelbänken/Lehrbergbänken. Die Ablagerung der Lehrbergschichten vollzog sich in einer übersalzten Playatonebene mit häufigem Trockenfallen [11]. Die Lehrbergschichten werden vom Blasensandstein der Hassberge-Formation überlagert. Im Unterschied zum nordischen Schilfsandstein erfolgte die Schüttung der Sande jetzt vom Vin-



Photo/Foto: Krakow (2011)

»10 K4 Sequence: After 111 years the Friedland Brickworks ceased production in December 2011/Leinetal Trench

»10 K4-Folge: Nach 111 Jahren hat das Ziegelwerk Friedland im Dezember 2011 die Produktion eingestellt/Leinetalgraben

2.4 Upper Keuper

At the beginning of the Upper Keuper came the change from largely continental to brackish-marine sedimentation. Associated with this, the intensive variegation of the sediments is lost. The mostly dark grey to subtle violet clay stones/shale clays and acid green sandstones of the Exter formation (k6 Sequence, Rhaetic Keuper) are deposits of a shallow sea that advanced from the Northern to Southern Germany. Characteristic are bone beds – that is bone remains from land and marine animals, which formed as boulder layers in the moving shallow water. According to the respective fossil community, the k6 Sequence is subdivided into the sub-units of the postera beds (marine bivalve faunas *Unionites postera*), the contorta beds (*Rhaetavícula contorta* bivalves) and the Triletes beds (*Triletes* spores) (»6). The k6 Sequence covers a time span of around 3.5 mill. years and is up to 150 m thick.

3 Aspects concerning use in the clay brick and tile industry

3.1 Raw material geology-related and mineralogical characteristics

The clayey-marly complex strata of the Keuper are characterized by lively material changes and numerous petrographic inhomogeneities. Significantly increased product requirements, primarily in the clay block and roofing tile sector, have led to the fact that only rigorously selected strata are used as brick raw materials (»7). So, in the meantime, the Lower Keuper (k1 Sequence) is no longer used at all. The last active sites included the ELM-Poroton Brick Plant in Schöningen.

In the Middle Keuper, carbonatic and evaporitic impurities decide primarily on the use of the raw materials in the clay brick and tile industry. Dolomitic clay marl/marl of the Lehrberg strata (k4 Sequence) is predestined for the production of high-porosity clay bricks with high compressive strength. Low-carbonate Keuper clays with lime content below 5 mass% are used on the other hand as basic components in the clay roofing

delizisch-Böhmischen Massiv. Der Mittlere Keuper schließt mit der 100 bis 150 m mächtigen Arnstadt-Formation (k5-Folge, Steinmergelkeuper) ab. Aufgrund der Dominanz von Karbonaten ist diese Formation für die Ziegelindustrie weitgehend bedeutungslos.

2.4 Oberer Keuper

Zu Beginn des Oberen Keuper vollzog sich der Wechsel von überwiegend festländischer zu brackisch-mariner Sedimentation. Einhergehend damit verliert sich die intensive Buntfärbung der Sedimente. Die meist dunkelgrauen bis dezent violetten Tonsteine/Schiefertone und lichtgrünen Sandsteine der Exter-Formation (k6-Folge, Rhätkeuper) sind Ablagerungen eines Flachmeeres, das nun von Norden her bis nach Süddeutschland vorstieß. Charakteristisch sind Bonebeds – also Knochenreste von Land- und Meerestieren, die sich als Lesedecken im bewegten Flachwasser bildeten. Nach der jeweiligen Fossilgemeinschaft wird die k6-Folge in die Untereinheiten der postera-Schichten (*Muschelfauna Unionites postera*), die contorta-Schichten (*Muschel Rhaetavícula contorta*) und die Triletes-Schichten (*Sporengattung Triletes*) unterteilt (»6). Die k6-Folge umfasst eine Zeitspanne von etwa 3,5 Mio. Jahren und ist bis zu 150 m mächtig.

3 Aspekte zum Einsatz in der Ziegelindustrie

3.1 Rohstoffgeologische und mineralogische Charakteristik

Der tonig-mergelige Schichtkomplex des Keuper ist durch regen Materialwechsel und zahlreiche petrografische Inhomogenitäten geprägt. Signifikant gestiegene Produktansprüche, vor allem im Hintermauer- und Dachziegelbereich, haben dazu geführt, dass nur noch streng ausgewählte Schichtpakete als Ziegelrohstoff Verwendung finden (»7). So wird auf den Einsatz des Unteren Keuper (k1-Folge) mittlerweile vollständig verzichtet. Zu den letzten aktiven Standorten zählte das ELM-Poroton-Ziegelwerk in Schöningen.

Im Mittleren Keuper entscheiden karbonatische und evaporitische Beimengungen in erster Linie über die Verwendung der Rohstoffe in der Ziegelindustrie. Dolomitische Tonmergel/Mergel der Lehrbergsschichten (k4-Folge) sind prädestiniert für die Herstellung porosierter Mauerziegel mit hoher Druckfestigkeit. Karbonatarme Keupertone mit Kalkgehalten von unter 5 Masse-% werden dagegen als Basiskomponenten in der Dachziegelindustrie eingesetzt. Traditionell etabliert für die Großpfannen- und Pressdachziegelherstellung ist der Schilfsandstein in Stillwasserfazies (k3-Folge). Zu nennen ist hier vor allem das Tonvorkommen am Roten Berg südlich von Mühlhausen. Bei geschickter Abbauführung können granulometrisch einwandfreie Dachziegelmassen ohne Zugabe externer Rohstoffe hergestellt werden.

Begrenzend wirken sich im Mittleren Keuper oft Gehalte an Sulfaten/Gips aus, die durch entsprechend hohe Zugaben an Bariumkarbonat kompensiert werden müssen. Kalkabsprengungen können ein Thema sein und sind durch geeignete Maßnahmen zu unterbinden. Örtlich wird der Schilfsandstein aus diesem Grund feinst/trocken aufbereitet. Ein typisches Phänomen stellen auch hohe Mengen an Abraum und Zwischenmittel dar (»8). Vor allem bei der Dachziegelherstellung sind störende Sandschichten, Dolomitbänke und Tonschichten mit Gipsresiduen sorgfältig auszuwählen. Stellenweise können weniger als 50 % der entnommenen Rohstoffe verziegelt werden. Der Rest landet auf Abraumhalden (»9).



Photo/Foto: J. Meyer GmbH (2013)

»11 K6 Sequence in marginal facies: Extremely plastic clay in the Creussen Rhaetic clay pit in Upper Franconia/Southern German Block

»11 K6-Folge in Randfazies: Ausgeprägt plastischer Ton in der Rhättongrube Creußen in Oberfranken/Süddeutsche Großscholle



Photo/Foto: Adolf Gottfried Tonwerke GmbH (2011)

»12 K6 Sequence in marginal facies: Rhaetic clay pit with changeover to the Lias/Grossheirath clay works in Upper Franconia/Southern German Block

»12 K6-Folge in Randfazies: Rhättongrube mit Übergang zum Lias/Tonwerk Großheirath in Oberfranken/Süddeutsche Großscholle

tile industry. The Reed Sandstone in stagnant water facies (k3 Sequence) is traditionally established for the large-size pantiles and pressed clay roofing tiles. Deserving of special mention here is the clay deposit at Roter Berg south of Mühlhausen. With clever control of the extraction process, granulometrically ideal roofing tile bodies can be produced without the addition of external raw materials.

One limitation in the Middle Keuper is the content of sulphates/gypsum, which must be compensated for with correspondingly high additions of barium carbonate. Lime spalling can be an issue and must be prevented by means of suitable measures. Locally, the Reed Sandstone is prepared very fine and dry for this reason. A typical phenomenon are also high quantities of overburden and intermediate material (»8). Especially in clay roofing tile production, detrimental sand strata, dolomite beds and clay strata with gypsum residues must be carefully sorted out. In some places, less than 50 % of the extracted raw material is used in making bricks. The rest lands on spoil heaps (»9).

Especially for the area of the Red Wall, a high content of innercrystalline swelling clay minerals is characteristic. Worth mentioning is the expansive clay mineral corrensite, but also smectites and illite-smectite interbedded minerals [12]. The resulting drying and preheating sensitivity limits the batch content of the plant's own clay raw materials often severely. The ultimate buying in of external raw materials was already the last-resort solution for a string of clay block production plants (»10).

As a result of their brackish-marine origin, the beds of the Upper Keuper (k6 Sequence) are often more favourable than the underlying red-variegated playa sequences. Marl beds and evaporites are absent, instead organically bonded carbon can be present in a relatively high concentration. In basal facies, mostly greyish-blue to dark violet clay stone of the contorta strata have a great similarity with Lias clays. For clay mineral contents between 60 and 70 mass%, illite dominates clearly

Insbesondere für den Bereich der Roten Wand sind hohe Gehalte an innerkristallin quellfähigen Tonmineralen charakteristisch. Zu nennen ist das expansive Tonmineral Corrensit, aber auch Smektite und Illit-Smektit-Wechselagerungsminerale [12]. Die hieraus resultierende Trocknungs- und Aufheizempfindlichkeit limitiert den Versatzanteil werkseigener Tonrohstoffe oft empfindlich. Der ultimative Zukauf externer Rohstoffe war schon für eine ganze Reihe von Hintermauerwerken die letzte Notlösung (»10).

Infolge ihrer brackisch-marinen Entstehung sind die Schichten des Oberen Keuper (k6-Folge) oft günstiger als die unterlagernden rotbunten Playa-Sequenzen. Steinmergelbänke und Evaporite fehlen, dafür kann organisch gebundener Kohlenstoff in höherer Konzentration auftreten. In Beckenfazies haben die meist graublauen bis dunkelvioletten Tongesteine der contorta-Schichten große Ähnlichkeit mit Liastonen. Bei Tonmineralgehalten zwischen 60 und 70 Masse-% dominiert Illit deutlich vor Kaolinit und Chlorit. Expansive Tonmineralanteile liegen meist bei unter 10 Masse-% und sind damit beherrschbar. Oberflächennahe Verwitterungshorizonte zeigen ausgeprägte Plastizität. Die überlagernden Triletes-Schichten sind mit Tonmineralgehalten um die 50 Masse-% stärker sandig-schluffig und durch erhöhte Gehalte an Chlorit oft hellgrün gefärbt. Der bevorzugte Einsatz der contorta- und Triletes-Schichten liegt derzeit im Bereich der Mauerziegelherstellung.

Hoch different hiervon ist die Ausbildung des Rhätkeupers in der südöstlichen Randfazies, also in Oberfranken und der Oberpfalz. Bei deutlich geringerer diagenetischer Verfestigung stellt fehlgeordneter Kaolinit hier das eigenschaftsprägende Tonmineral dar. Ausgeprägte Plastizität, helle Brennfärbungen und damit assoziierte keramtechnologische Eigenschaften sind die wesentlichen Kennzeichen dieser Rohstoffe. Verbunden hiermit sind oft auch höherwertige Anwendungen, wie etwa im Bereich Steinzeugröhren, Feuerfest oder in der italienischen Fliesenindustrie.

before kaolinite and chlorite. Expansive clay mineral content is mostly under 10 mass% and can therefore be controlled. Near-surface weathering zones exhibit pronounced plasticity. The overlying Triletes strata are with a clay mineral content around 50 mass% more sandy and silty and often coloured light-green because of the increased content of chlorite. The preferred use of the contorta and Triletes strata is currently in the production of masonry bricks.

Very different from this is the formation of the Rhaetic Keuper in the south-eastern marginal facies, that is in Upper Franconia and the Upper Palatinate. With much lesser diagenetic consolidation, disordered kaolinite is the clay mineral characterizing the properties here. Pronounced plasticity, light fired colours and the associated cerametechnological properties are the essential characteristics of these raw materials. Associated with this are often higher-quality applications, like, for example, vitrified clay pipes, refractories or in the Italian tile industry.

3.2 Field impressions and example locations

At the Creussen site in Upper Franconia, in separate openings, Rhaetic sands and extremely plastic Rhaetic clays of the marginal facies are extracted (»11). The Rhaetic clays are characterized by a high clay mineral content, disordered kaolinite with around 40 mass% dominating before the irregular kaolinite-smectite interbedding with around 15 mass%. The Rhaetic clays are highly reactive, which is reflected in correspondingly high shrinkage and strength values. The preferred use is as bonding clay in masonry bricks. At peak temperatures from 1100°C, with pinkish firing colours, clinker brick properties are obtained.

At the traditional site of Grossheirath south of Coburg in Upper Franconia, beds from the Rhaetic Keuper to the overlying Lias are extracted selectively and prepared to ceramic bodies (»12). With the selective use of external raw materials, raw and ground clays with a fired colour spectrum from creamy white through buff to red are produced (»13). In addition, in modern preparation and firing plants, tailored chamottes are produced. The main buyers are producers of building ceramics and refractories. For the clay brick and tile industry, the Grossheirath site has long been a guarantee for quality and reliability.

4 Final remarks

On account of its thickness and its wide distribution, the Keuper constitutes notable clay potential for Central and Southern Germany clay brick and tile industry. In the search and exploration of new clay deposits, it is necessary to take account of chemical-mineralogical impurities that occur primarily in the Lower and Middle Keuper. The opening of high-quality deposits generally incurs extremely high prospection and exploration costs. With regard to the expansion of existing brickwork clay pits, lime and sulphate content, overburden thickness and intermediate material are factors that decide on profitability.

Readers wishing to deepen their knowledge of the subject are referred to the Keuper Monography [3], which has been referenced directly in different parts of the text. Information on the use in the clay brick and tile industry is based on laboratory tests at Dr. Krakow Rohstoffe GmbH as well as years of field experience. The information given is not binding. Stratigraphic classification was given according to the state of the art and to the best of the authors' knowledge and belief.



Photo/Foto: Adolf Gottfried Tonwerke GmbH (1991)

»13 State-of-the-art preparation equipment for grinding, mixing and granulating clay

»13 Modernste Aufbereitungsanlagen zum Mahlen, Mischen und Granulieren von Ton

3.2 Praxisimpressionen und exemplarische Standorte

Am Standort Creußen/Oberfranken werden in separaten Aufschlüssen Rhätsande und ausgeprägt plastische Rhättonne der Randfazies gewonnen (»11). Die Rhättonne sind durch einen hohen Tonmineralgehalt gekennzeichnet, wobei fehlgeordneter Kaolinit mit rund 40 Masse-% mengenmäßig vor unregelmäßigen Kaolinit-Smektit-Wechselagerungen mit rund 15 Masse-% dominiert. Die Rhättonne sind hochreaktiv, was sich in entsprechend hohen Schwindungs- und Festigkeitswerten widerspiegelt. Der bevorzugte Einsatz wird als Bindeton im Mauerziegelbereich gesehen. Bei Spitzentemperaturen ab 1100°C werden bei rosaroten Brennfärbungen Klinkereigenschaften erreicht.

Am Traditionsstandort Großheirath südlich Coburg in Oberfranken werden Schichtenfolgen vom Rhätkeuper bis in den überlagernden Lias selektiv gewonnen und zu keramischen Massen aufbereitet (»12). Durch gezielten Einsatz von externen Rohstoffen werden Roh- und Mahltonne mit einem Brennfärbenspektrum von Cremeweiß über Gelb bis Rot produziert (»13). Daneben werden in modernen Aufbereitungs- und Brennanlagen Schamotten nach Maß hergestellt. Hauptabnehmer sind Hersteller von Baukeramik und Feuerfestprodukten. Für die Ziegelindustrie ist der Standort Großheirath seit jeher Garant für Qualität und Zuverlässigkeit.

4 Schlussbemerkungen

Aufgrund seiner Mächtigkeit und seiner weiten Verbreitung stellt der Keuper für die mittel- und süddeutsche Ziegelindustrie ein nennenswertes Tonpotenzial dar. Bei der Suche und Erkundung neuer Tonvorkommen ist auf chemisch-mineralogische Verunreinigungen zu achten, die vor allem im Unteren und Mittleren Keuper auftreten. Der Aufschluss hochwertiger Vorkommen setzt in der Regel einen extrem hohen Prospektions- und Explorationsaufwand voraus. Bei der Erweiterung bestehender Ziegeleitongruben entscheiden Kalk- und Sulfatgehalte sowie Abraummächtigkeiten und Zwischenmittel über die Rentabilität.

Zur Vertiefung der Thematik sei auf die Monographie des Keuper [3] verwiesen, auf die an verschiedenen Stellen des Textes direkt Bezug genommen wird. Hinweise zum Einsatz in der Ziegelindustrie beruhen auf Laborversuchen der Dr. Krakow Rohstoffe GmbH sowie auf jahrelanger Praxiserfahrung. Alle Informationen sind unverbindlich. Stratigraphische Einstufungen wurden nach dem neusten Stand der Technik sowie bestem Wissen und Gewissen vorgenommen.



» **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**)

Locations of brick plants/clay pits in the Upper Keuper:
K6 Sequence, Exter Formation/Rhaetic Keuper:
32699 Extertal, 34414 Warburg/Bonenburg, 95473 Creussen, 95512 Pechgraben, 96269 Grossheirath

Locations of brick plants/clay pits in the Middle Keuper:
K5 Sequence, Arnstadt Formation/Marl Keuper:
39397 Gröningen

K4 Sequence, Weser Formation/Upper Gypsum Keuper:
37133 Friedland, **90579 Langenzenn-I (Walther), 90579 Langenzenn-II (Wienerberger)**, 90579 Langenzenn-III (Lotter & Stiegler), 91080 Spardorf, 91413 Neustadt/Aisch, **91448 Oberriederndorf**

K3 Sequence, Stuttgart Formation/Reed Sandstone:
99095 Mittelhausen, **97618 Unsleben, 99991 Altengottern, 99998 Weinbergen/Bollstedt, 99998 Weinbergen/Höngeda**

K2 Sequence, Grabfeld Formation/Lower Gypsum Keuper:
31167 Schlewecke, **32839 Steinheim/Bergheim**, 38170 Schöppenstedt/
Sambleben, 97633 Kleinbarndorf, 99510 Apolda, 91522 Ansbach,
99091 Erfurt/Gispersleben

Locations of brick plants/clay pits in the Middle Keuper:
K1 Sequence, Erfurt Formation/Lettenkohlen Keuper:
27367 Sottrum, 38364 Schöningen, 99094 Erfurt/Bischleben, 91522
Ansbach, 97509 Zeilitzheim, 99192 Neudietendorf, 99198 Mönchen-
holzhausen, 99439 Buttstedt, 99518 Reisdorf, 99610 Sömmerda/
Rohrborn, 99628 Buttstädt, 99634 Straußfurt, 99706 Hohenebra,
99718 Greussen, 99718 Niedertopfstedt, 99867 Gotha

» **Exemplarische Zusammenstellung**

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

Standorte von Ziegelwerken/Tongruben im Oberen Keuper:
K6-Folge, Exter-Formation/Rhätkeuper:
32699 Extertal, 34414 Warburg/Bonenburg, 95473 Creußen, 95512 Pechgraben, 96269 Großheirath

Standorte von Ziegelwerken/Tongruben im Mittleren Keuper:
K5-Folge, Arnstadt-Formation/Steinmergelkeuper:
39397 Gröningen

K4-Folge, Weser-Formation/Oberer Gipskeuper:
37133 Friedland, **90579 Langenzenn-I (Walther), 90579 Langenzenn-II (Wienerberger)**, 90579 Langenzenn-III (Lotter & Stiegler), 91080 Spardorf, 91413 Neustadt/Aisch, **91448 Oberriederndorf**

K3-Folge, Stuttgart-Formation/Schilfsandstein:
99095 Mittelhausen, **97618 Unsleben, 99991 Altengottern, 99998 Weinbergen/Bollstedt, 99998 Weinbergen/Höngeda**

K2-Folge, Grabfeld-Formation/Unterer Gipskeuper:
31167 Schlewecke, **32839 Steinheim/Bergheim**, 38170 Schöppenstedt/
Sambleben, 97633 Kleinbarndorf, 99510 Apolda, 91522 Ansbach,
99091 Erfurt/Gispersleben

Standorte von Ziegelwerken/Tongruben im Unteren Keuper:
K1-Folge, Erfurt-Formation/Lettenkohlenkeuper:
27367 Sottrum, 38364 Schöningen, 99094 Erfurt/Bischleben,
91522 Ansbach, 97509 Zeilitzheim, 99192 Neudietendorf, 99198 Mön-
chenholzhausen, 99439 Buttstedt, 99518 Reisdorf, 99610 Sömmerda/
Rohrborn, 99628 Buttstädt, 99634 Straußfurt, 99706 Hohenebra,
99718 Greußen, 99718 Niedertopfstedt, 99867 Gotha

References/Literatur

[1] Beutler, G. & Nitsch, E. (2005): 3. Paläogeographischer Überblick. – In: Stratigraphie von Deutschland IV Keuper. – Deutsche Stratigraphische Kommission, Hrsg., Courier Forschungsinstitut Senckenberg, Heft 253, 15-30, Frankfurt am Main, ISBN 3-510-61376-7

[2] Krakow, L. & Schunke, F. (2016): Aktuelles Tonpotenzial von Deutschland Teil 4: Rohstoffe aus der Gruppe des Buntsandstein/System Trias. – Bauverlag, Zi Ziegelindustrie International, 8/2016, 33- 42

[3] Beutler, G.; Hauschke, N.; Nitsch, E. & Vath, U. (2005): Stratigraphie von Deutschland IV. Keuper. – Deutsche Stratigraphische Kommission (Hrsg.), Courier Forschungsinstitut Senckenberg, Heft 253, 296 S., Frankfurt am Main, ISBN 3-510-61376-7

[4] Krakow, L. (1990): Mesozoische Tongesteine in Südniedersachsen und ihre Verwendbarkeit als Dichtungsmaterial für Deponien. – Diss. zur Erlangung des Doktorgrades der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fachbereiche der Georg-August-Universität Göttingen, Eigenverlag, 428 S.

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

[7] Freudenberger, W. & Schwerd, K. (1996): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:500.000. – Hrsg./Verlag: Bayerisches Geologisches Landesamt, 329 S. 67 Abb., 21 Tab., 8 Beilagen, München

[8] Dockter, J. & Schubert, J. (2005): 5.6 Der Keuper im Thüringer Becken und im Thüringischen Grabfeld. – In: Stratigraphie von Deutschland IV Keuper. – Deutsche Stratigraphische Kommission, Hrsg., Courier Forschungsinstitut Senckenberg, Heft 253, 192–202, Frankfurt am Main, ISBN 3-510-61376-7

[9] Beutler, G. (2005): 1. Einleitung. – In: Stratigraphie von Deutschland IV Keuper. – Deutsche Stratigraphische Kommission, Hrsg., Courier Forschungsinstitut Senckenberg, Heft 253, 3–5, Frankfurt am Main, ISBN 3-510-61376-7

[10] Farrenschon, J. (2005): 5.3 Der Keuper des Weserberglandes. – In: Stratigraphie von Deutschland IV Keuper. – Deutsche Stratigraphische Kommission, Hrsg., Courier Forschungsinstitut Senckenberg, Heft 253, 155–162, Frankfurt am Main, ISBN 3-510-61376-7

[11] Freudenberger, W. (2005): 5.7 Der Keuper in Franken und der Oberpfalz (Bayern). – In: Stratigraphie von Deutschland IV Keuper. – Deutsche Stratigraphische Kommission, Hrsg., Courier Forschungsinstitut Senckenberg, Heft 253, 203– 213, Frankfurt am Main, ISBN 3-510-61376-7

[12] Echle, W. (1961): Mineralogische Untersuchungen an Sedimenten des Steinmergelkeupers und der Roten Wand aus der Umgebung von Göttingen. – Beitr. z. Miner. u. Petrol., 8, 28–59, Berlin