

## Faziesentwicklung des Oberen Hauptquaders und der Oberen Terebratelbank (Oberer Muschelkalk, Trias, Südwestdeutschland)

Von ALEXANDER PETROVIC, ehemals Universität Tübingen.

Mit 4 Abbildungen und 4 Tafeln.

### ZUSAMMENFASSUNG

Der Obere Hauptquader (Quaderkalk-Formation, Oberer Muschelkalk, Mittlere Trias) in Südwestdeutschland repräsentiert einen fossilen Karbonat-„Sandkörper“ (Shoal), der auf einer epikontinentalen und flach einfallenden Karbonatrampe nordwestlich des Vindelizisch-Böhmischen Massivs abgelagert wurde. Er ist der größte und mächtigste von vier geologischen Körpern, welche die Quaderkalk-Formation bilden und lässt sich mit küstennahen Karbonat-Sandkörpern aus dem heutigen östlichen Arabischen/Persischen Golf vergleichen. Überlagert wird dieser Körper von der Oberen Terebratelbank, die einen wichtigen Leithorizont im Oberen Muschelkalk darstellt. Die vorliegende Publikation untersucht im Zuge einer hochauflösenden sedimentologischen Studie die räumliche Faziesverteilung und Paläoströmungen des Oberen Hauptquaders und der Oberen Terebratelbank. Ziel dieser Studie ist eine detaillierte Rekonstruktion des Ablagerungsraumes sowie des Paläo-Strömungssystems. Zu diesem Zweck wurden von 71 Steinbrüchen und Bohrkernen sedimentologische Profile aufgenommen und eine Faziesanalyse durchgeführt, die mit mehr als 400 Dünnschliffen optimiert wurde. Des Weiteren wurden Steinbruch-Wände kartiert, 2D-Korrelationen und Fazieskarten erstellt und zwei Ablagerungsmodelle entwickelt.

Anstelle eines homogenen und kontinuierlichen Oberen Hauptquaders deuten die Ergebnisse auf ein Mosaik aus mehreren kleineren Karbonat-Sandkörpern hin. Einzelne Sandkörper zeigen eine heterogene Faziesverteilung, die auf Eventablagerungen und kleinskalige Meeresspiegelschwankungen zurückzuführen ist. Die Faziesverteilung der Oberen Terebratelbank zeigt ebenfalls ein heterogenes Muster, das von Sturm-bedingten Ablagerungen über Bivalven- und Brachiopoden-Bänke bis hin zu Biohermen reicht. Die Rekonstruktion des Paläo-Strömungssystems impliziert ein komplexes Zusammenspiel zwischen täglichen Wind-induzierten Strömungen, Stürmen und Tiden-Strömungen.

**Schlüsselwörter:** Muschelkalk, Karbonatrampe, Karbonatsand, Paläorekonstruktion, Paläoströmung.

### SUMMARY

The Obere Hauptquader (Quaderkalk Formation, Upper Muschelkalk, Mid-Triassic) in SW Germany represents a carbonate shoal analogue that was deposited on an epicontinental, gently inclined carbonate ramp, NW of the Vindelician-Bohemian Massif. It represents the largest and thickest of four individual geobodies,

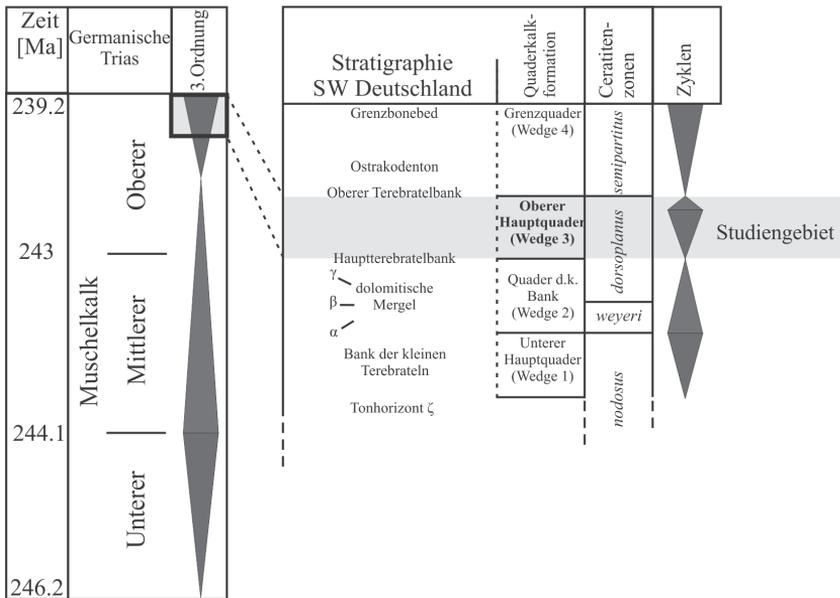
which form the Quaderkalk Formation, and is similar to shoals in the modern Arabian/Persian Gulf. The shoal analogue is overlain by an important marker bed of the Upper Muschelkalk, the Obere Terebratelbank. As part of a high-resolution sedimentological investigation, this paper focuses on the spatial facies distribution and paleo-currents of the Obere Hauptquader and the Obere Terebratelbank. The objective of the study is a detailed paleo-reconstruction of the depositional environment and the paleo-current system. To that end, 71 outcrop sections and cores were measured, and a facies analysis was carried out that was refined by the analysis of more than 400 thin sections. Outcrop walls were mapped, 2D-correlations and facies maps produced, and two depositional models developed.

Instead of a homogenous and continuous shoal body, the data indicate a mosaic of several smaller shoals. Individual shoals show a heterogeneous facies distribution due to event deposits and small-scale sea-level fluctuations. The facies distribution of the Obere Terebratelbank additionally shows a complex pattern that ranges from storm-induced deposits to mussel banks and bioherms. Paleo-current data point to a complex interplay of wind-induced currents, storms and tidal currents.

**Keywords:** Muschelkalk, carbonate ramp, carbonate sand, paleo-reconstruction, paleo-current.

## 1. EINLEITUNG

Die Quaderkalk-Formation im Oberen Muschelkalk (Mittlere Trias) Südwestdeutschlands (Abb.1) repräsentiert gegenüber der sonst dominierenden Beckenfazies der Meißner-Formation (z.B. HAGDORN 2004) eine Sonderfazies (z.B. DREXLER 1964; GRANER 1984). Sie ist aus vier lithostratigraphisch unabhängigen, ooid- und bioklastreichen geologischen Körpern aufgebaut. Der größte und mächtigste dieser vier Körper ist der Obere Hauptquader (Abb. 2; Tafel 2). Er hat eine Länge von circa 50 km, eine Breite von circa 30 km, eine maximale Mächtigkeit von circa 5-6 m, und ist zwischen Würzburg und Rothenburg o.d. Tauber in zahlreichen Steinbrüchen aufgeschlossen. Der Obere Hauptquader repräsentiert einen Karbonat-Sandkörper (shoal complex), der auf einer epikontinentalen, flach einfallenden Karbonatrampe im hochenergetischen Faziesgürtel des Oberen Muschelkalks (AIGNER 1985) abgelagert wurde. Vergleichen lassen sich die Ablagerungsbedingungen mit küstennahen Karbonat-Sandkörpern aus dem östlichen Persischen/Arabischen Golf (Vereinigte Arabische Emirate). Bedingt durch die massive Nutzung als Werkstein und die damit verbundene höchste Steinbruchdichte Europas, stellt der Obere Hauptquader eine einmalige Möglichkeit dar, um hochenergetische Ablagerungen einer fossilen Karbonatrampe zu studieren. Darüber hinaus repräsentiert der Sandkörper ein Aufschlussanalog für bioklastische Kohlenwasserstoff-Speicher, die unterhalb der seismischen Auflösung liegen, wie z.B. die Speichergesteine der jurassischen „Arab D Formation“ im Mittleren Osten. Der Obere Hauptquader wird von der Oberen Terebratelbank überlagert, die ein 30-50 cm mächtiger, prominenter Leithorizont im Oberen Muschelkalk ist. Sie ist charakterisiert durch Brachiopoden- (z.B.



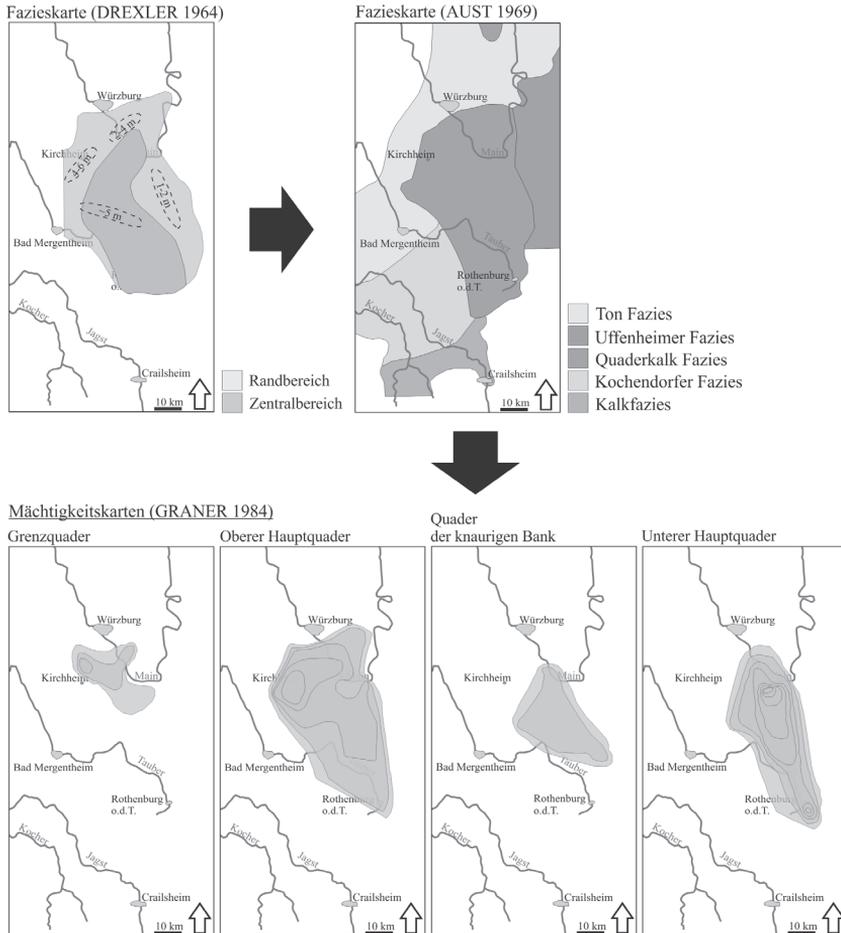
**Abb. 1:** Stratigraphie des Oberen Muschelkalks (Trias) in Südwest-Deutschland (modifiziert nach HAGDORN 2004; Deutsche Stratigraphische Kommission 2016). Ceratitenzonen (URLICHS & MUNDLOS 1987, 1990).

*Coenothyris vulgaris*) und Bivalven-Ansammlungen (z.B. *Enantiostreon difforme*), sowie die mit Hartgründen assoziierten *Placunopsis ostracina*-Biohermen (MÜLLER 1950; BACHMANN 1979; HAGDORN & SIMON 1988). Beschrieben wurde die Quaderkalk-Formation (Abb. 2) erstmals von WAGNER (1913). DREXLER (1964) kartierte sie und AUST (1969) verfeinerte die bereits publizierten Karten und teilte die Formation lateral in fünf Fazieszonen ein. Die Unterteilung der Formation in vier lithostratigraphisch separierte Einheiten und die genauen lateralen Ausdehnungen wurde von GRANER (1984) publiziert.

Die vorliegende Veröffentlichung präsentiert eine hochauflösende, sedimentologische und fazielle Studie des Oberen Hauptquaders und der darüber liegenden Oberen Terebratelbank des Oberen Muschelkalks (Trias), mit dem Ziel einer detaillierten Rekonstruktion des Paläo-Ablagerungsraumes. Sie ist Teil einer Doktorarbeit, die 2017 mit dem Walter-Schall-Preis ausgezeichnet wurde.

### 1.1 Paläogeographie und -Klima

Das halbgeschlossene Germanische Becken lag während des frühen Ladiniums (Mittlere Trias) zwischen der 35 und 43 N Paläobreite (MARSAGLIA & KLEIN 1983) im tropischen-subtropischen bis ariden Klimagürtel (VISCHER & VAN DER ZWAN 1981; ZIEGLER et al. 2003). Zu dieser Zeit war das Becken von dem epikontinentalen Muschelkalkmeer bedeckt, welches von einem Nordost gerichteten Wind-



**Abb. 2:** Die Erforschungsgeschichte der Quaderkalk Formation (modifiziert nach DREXLER 1964; AUST 1969; GRANER 1984).

system (z.B. BRAUN 2003; KOSTIC & AIGNER 2004) und durch Winterstürme sowie Hurrikans beeinflusst wurde (z.B. AIGNER 1985; PARRISH 1993). Im Süden bildete das Vindelizisch-Böhmische Massiv eine natürliche Barriere und trennte das Muschelkalk-Meer vom Tethys-Ozean. Über die Burgundische Pforte im Südwesten, die Schlesisch-Mährische Pforte und die Ostkarpaten-Pforte im Südosten war es episodisch mit der Tethys verbunden (z.B. KOZUR 1974). Während des Oberen Muschelkalks (Trias, 243-239.2 Ma; Deutsche Stratigraphische Kommission 2016) bildete sich im Nordwesten des Vindelizisch-Böhmischen Massivs, unter voll-marinen Bedingungen, eine flach einfallende Karbonatrampe aus, welche sich mit der im heutigen Persischen/Arabischen Golf (AIGNER 1985) vergleichen lässt.

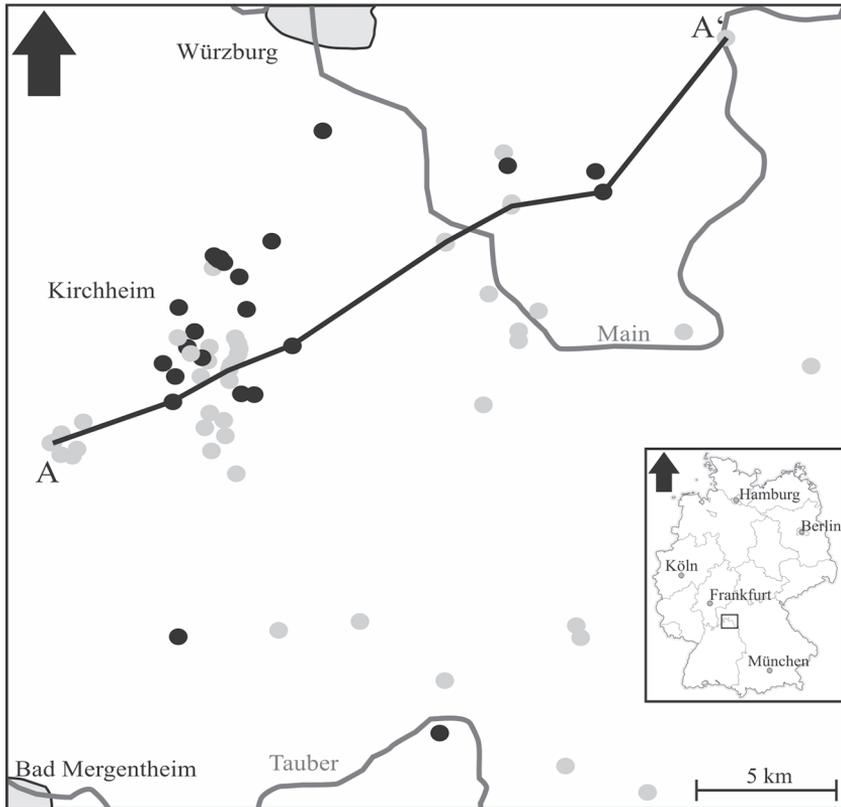
## 1.2 Stratigraphie

Der Obere Muschelkalk (Trias, 243-239.2 Ma; Deutsche Stratigraphische Kommission 2016) in Südwestdeutschland ist durch ein sehr gut etabliertes litho- und biostratigraphisches Gerüst (z. B. SANDBERGER 1867; WAGNER 1913; VOLLRATH 1938, 1955; BACHMANN & GWINNER 1971; HAGDORN et al. 1993; GEYER & GWINNER 2011) charakterisiert, das sich aus zahlreichen prominenten Ton- und Mergel-Horizonten, Leitbänken (z. B. Spheriferina Bank, Hauptterebratelbank, Obere Terebratelbank) und biostratigraphischen Zonen (z. B. Ceratiten: URLICHS & MUNDLOS 1987, 1990; Konodonten und Ostrakoden: KOZUR 1974) aufbaut. Er lässt sich in seiner Gesamtheit als ein 3. Ordnung Zyklus (Composite Sequence) interpretieren, der sich aus mehreren 4. Ordnung Zyklen zusammensetzt (AIGNER & BACHMANN 1992).

Die Quaderkalk-Formation repräsentiert eine Sonderfazies im Gegensatz zu der dominierenden Beckenfazies der Meißner-Formation (Oberer Muschelkalk). Sie kommt in dem Gebiet zwischen der Tauber im Süden und Würzburg im Norden vor (Abb. 2) und hat eine maximale Mächtigkeit von circa 25 m (z. B. WAGNER 1913; DREXLER 1964; AUST 1969; GRANER 1984). Stratigraphisch liegt sie im regressiven 3. Ordnung Hemizyklus. Die Formation erstreckt sich vom Top des tondominierten Leithorizontes „Tonhorizont zeta“ und endet an der Muschelkalk-Keuper-Grenze, die durch das markante „Grenzbonebed“ gekennzeichnet ist (235 Ma; MENNING et al. 2005). Die Quaderkalk-Formation wird in vier lithostratigraphische, unabhängige Einheiten unterteilt (GRANER 1984): (1) Unterer Hauptquader, (2) Quader der knarigen Bank, (3) Oberer Hauptquader, (4) Grenzquader. Der Obere Hauptquader ist durch einen schichtkuchenartigen (layer-cake) Aufbau charakterisiert, hat eine maximale Mächtigkeit von circa sechs Metern (PETROVIC & AIGNER 2017) und erstreckt sich zwischen den beiden Leitbänken Hauptterebratelbank (Basis) und Oberer Terebratelbank (Top). Darüber folgt der Ostrakodonten. Er wird von dem Grenzquader überlagert, der bis zur Muschelkalk-Keuper-Grenze reicht. Die beiden Brachiopoden-reichen Leitbänke (Haupt- und Obere Terebratelbank) werden als Zone des „maximum flooding“ eines kleinskaligen Zyklus interpretiert (AIGNER & BACHMANN 1992; AIGNER et al. 1999; PETROVIC & AIGNER 2017). Folglich wird die Entwicklung des Oberen Hauptquaders und des Grenzquaders mit Zyklen-gesteuerten Regressionen in Verbindung gebracht (PETROVIC & AIGNER 2017).

## 1.3 Sedimentologischer Rahmen

Das übergeordnete Ablagerungsmuster auf der Karbonatrampe des Oberen Muschelkalks in Süddeutschland lässt sich in vier Faziesgürtel unterteilen (AIGNER 1985): (A) ein sandiger Küstengürtel (nearshore), (B) ein Dolomit-dominiertes Lagunengürtel (backshoal), (C) ein bioklastenreicher und oolithischer, hochenergetischer Gürtel (Shoal) und (D) ein niedrigenergetischer Gürtel (Offshoal). Innerhalb des hochenergetischen Gürtels ist das Vorkommen von bioklastischen Karbonaten sehr stark an paläotektonische Elemente geknüpft (AIGNER 1985; BRAUN 2003; PALERMO et al. 2010), wie z. B. der Gammesfelder Barre. Sie wird als eine schwellenartige Untiefe interpretiert, auf der die Quaderkalk-Formation ab-



**Abb. 3:** Übersichtskarte über das Studiengebiet in Südwest-Deutschland und der Datenpunkte. Graue Punkte: Aufschlüsse; Schwarze Punkte: Bohrkerne. Die Linien A-A' zeigen die Lage zweier sequenz-stratigraphischer Korrelationen.

gelagert wurde (z. B. WAGNER 1913; DREXLER 1964). Im Zuge der übergeordneten 3. Ordnung Regression repräsentiert die Quaderkalk-Formation ein nach Nordwesten, Richtung Beckenzentrum, progradierendes System (z. B. BRAUN 2003).

## 2. METHODEN UND MATERIALIEN

Im Zuge der präsentierten Studie wurden insgesamt 47 Steinbrüche und 24 Bohrkerne untersucht, die sich über ein Gebiet von 30 x 30 km südlich von Würzburg erstrecken (Abb. 3). Von allen untersuchten Steinbrüchen und Bohrkernen wurden detaillierte lithologische Profile aufgenommen. Paläo-Strömungsmessungen ( $n > 200$ ) wurden an dreidimensionalen Steinbruch-Expositionen durchgeführt. Um eine bessere Korrelation zu gewährleisten, wurde die natürliche radioaktive Strahlung an sauberen Aufschlusswänden mit einer tragbaren Sonde (GB-H 1635) gemessen.

Die makroskopischen Geländeaufnahmen wurden mit Hilfe von 410 Dünnschliffen hinsichtlich der Partikelgröße (WENTHWORTH 1922; FLÜGEL 2010), Textur (DUNHAM 1962), Komponenten und Sortierung (LONGIARU 1987) verfeinert. Die Faziesklassifikation wurde nach dem Schema von PETROVIC & AIGNER (2017) für Karbonatsande des Oberen Muschelkalks angewandt.

### 3. ERGEBNISSE UND INTERPRETATION

#### 3.1 1D-Analyse: Vertikale Faziesentwicklung und Zyklen-Architektur

Die Gesteine des Oberen Hauptquaders wurden auf einer sehr flach einfallenden, epikontinentalen Karbonatrampe abgelagert und lassen sich mit Hilfe von 14 Lithofazies-Typen (Abb. 4) beschreiben, die sich wiederum in fünf Lithofazies-Assoziationen gruppieren lassen (PETROVIC & AIGNER 2017). Sie umfassen bioturbirte mudstones und Mergel, die eine niedrigerenergetische und distale Fazies (LFA 6: Offshoal-Fazies) repräsentieren, stark bioturbirte wackestones (LFA 5: Transitional-Fazies), amalgamierte packstone-Lagen (LFA 4: Shoal-Fringe-Fazies) und schräggeschichtete grainstone-Bänke, die für eine hochenergetische und proximale Fazies stehen (LFA 3: Shoal-Fazies; Abb. 4).

Die Entwicklung (Tafel 2) des Oberen Hauptquaders lässt sich durch zwei Zyklentypen beschreiben, (1) einen proximalen Shoal-Zyklus (regressive high-energy shoal cycle, PETROVIC & AIGNER 2017) sowie einen distalen Shoal-Zyklus (regressive shoal fringe cycle, PETROVIC & AIGNER 2017). Beide Zyklen können eine Mächtigkeit von circa 5-7 m erreichen und werden im Folgenden beschrieben.

##### 3.1.1 Proximaler Shoal-Zyklus

*Beschreibung.* Die Basis des proximalen Shoal-Zyklus (Tafel 2) besteht aus laminierten Mergeln, die sich mit dünnen mudstone-Lagen und cm-mächtigen, gradierten packstone-Lagen abwechseln, gefolgt von dünnbankigen und leicht bioturbirten mudstones und dm-dicken, stark bioturbirten und schlecht sortierten wackestones. Darauf folgen dm- bis m-dicke, massive, amalgamierte, moderat sortierte und leicht bioturbirte packstone- und/oder pack- to grainstone-Lagen, die eine erosive Basis haben. Darüber folgt eine bis zu einem Meter mächtige Einheit, die aus bis zu 20 cm mächtigen und gut sortierten pack- to grainstone- und grainstone-Bänken aufgebaut ist. Die Bänke zeigen Schrägschichtung. Lateral verzahnen sie sich mit dm-mächtigen, moderat sortierten pack- to grainstone- und grainstone-Bänken. Darauf folgt eine mehrere dm-mächtige Einheit, die sich aus schlecht sortierten und stark bioturbirten wackestone-Lagen aufbaut. Sie wird überlagert von mehreren cm- bis dm-mächtigen, moderat sortierten packstone-Bänken und einer bis zu drei Metern mächtigen Einheit, die aus bis zu 30 cm mächtigen und gut sortierten pack- to grainstone- und grainstone-Bänken aufgebaut ist. Die Bänke zeigen Schrägschichtung und verzahnen sich lateral mit dm-mächtigen, moderat sortierten pack- to grainstone- und grainstone-Bänken oder auch mit cm-mächtigen, gradierten packstone-Lagen. Darauf folgt eine mehrere dm-mächtige Einheit, die aus drei sehr schlecht sortierten und moderat



bioturbierten packstone-Bänken besteht. Die unterste packstone-Lage führt an der Basis mehrere cm große Klasten und schneidet sich erosiv in die darunter liegende grainstone-Bank ein. Sie wird überdeckt von einer mehreren dm-mächtigen Einheit, die sich aus laminierten Mergeln, cm-mächtigen mudstone-Lagen und sich immer wieder einschaltenden, cm-mächtigen und gradierten packstone-Lagen zusammensetzt. Überlagert wird diese von einer 20-30 cm mächtigen Einheit, die sich aus mehreren cm-mächtigen Lagen aufbaut. Sie setzen sich aus gradierten packstone-Lagen mit hummocky cross-stratification und Ansammlungen von Brachiopoden (z.B. *Coenothyris vulgaris*) und Bivalven (z.B. *Enantiostrion difforme*) in Lebendstellung, die mit Hartgründen assoziiert sind, zusammen. Im Raum Krensheim und im Raum Eibelstadt treten alternativ dazu einen halben Meter bis m-mächtige *Placunopsis ostracina*-Bioherme auf.

Abgeschlossen wird der proximale Shoal-Zyklus durch eine dünne mudstone-Lage am Top.

*Interpretation.* Der basale feinkörnige und mud-dominierte Bereich des beschriebenen Zyklus (Tafel 2) lässt sich als Ablagerung unterhalb der Sturmwellen Basis (SWB: storm wave base) interpretieren. Die überlagernden amalgamierten packstone-Lagen und schräggeschichteten pack- to grainstone-Bänke spiegeln eine Zunahme der Ablagerungsenergie wider. Somit verschiebt sich das Ablagerungsregime über den Bereich zwischen der SWB und Schönwetter Wellen Basis (FWWB: fair weather wave base) in den Bereich oberhalb der FWWB, der durch Wind-induzierte Strömungen stark beeinflusst ist. Die darauf folgenden wacke-tones und packstones repräsentieren eine Verschiebung des Ablagerungsregimes unterhalb der FWWB. Das überlagernde, bis zu drei Meter mächtige Paket, das durch pack- to grainstone- und grainstone-Bänke dominiert wird, deutet auf eine erneute Verlagerung des Ablagerungsregimes oberhalb der FWWB hin. Die eingeschalteten packstone-Bänke implizieren vermutlich kurzweilige Verschiebungen unterhalb der FWWB oder Sturm-induzierte Ablagerungen. Insgesamt repräsentiert diese Abfolge einen klaren übergeordneten Verflachungstrend (shallowing-upward). Die überlagernde packstone-Bank, die sich erosiv in das darunter liegende grainstone-Paket einschneidet und Klasten an der Basis führt, deutet auf eine starke Aufarbeitung hin. Die darauf folgenden feinkörnigen und mud-dominierten Ablagerungen implizieren eine Verlagerung des Ablagerungsregimes vermutlich in den Bereich unterhalb der SWB. Basierend auf den Ansammlungen von Brachiopoden und Bivalven in Lebendstellung und den *Placunopsis ostracina*-Biohermen lässt sich die darüber liegende packstone-Bank als Obere Terebratelbank identifizieren. Bedingt durch das Auftreten von gradierten packstone-Lagen, die sich als Sturmablagerungen interpretieren lassen, befand sich das Ablagerungsregime im Bereich der SWB. Die am Top abschließende mudstone-Lage deutet auf eine Ablagerung unterhalb der SWB hin. Insgesamt zeigt dieser Bereich der Abfolge einen klaren übergeordneten Vertiefungstrend (deepening-upward).

Aufgrund des Verflachungstrends im unteren Teil (Tafel 2), des Vertiefungstrends im oberen Teil und des prominenten und erosiv einschneidenden und

klastenführenden Horizonts lässt sich die Abfolge als ein regressiver/transgressiver Zyklus interpretieren, welcher sich aus kleineren, m-mächtigen Minizyklen (PETROVIC & AIGNER 2017) zusammensetzt. Die Basis des klastenreichen Horizonts repräsentiert die maximale regression bzw. transgressive surface.

### 3.1.2 Distaler Shoal-Zyklus

*Beschreibung.* Die Basis des distalen Shoal-Zyklus (Tafel 2) besteht aus mehreren dm-mächtigen laminierten Mergeln und cm-mächtigen mudstone-Linsen, in denen immer wieder cm-mächtige mudstone-Lagen mit hummocky cross-stratification und cm-mächtigen, gradierten, schwach bioturbierten wacke- to packstone-Lagen eingeschaltet sind. Darüber folgt eine circa vier Meter mächtige Einheit, die sich aus einer Wechsellagerung aus mehreren dm-mächtigen, stark bioturbierten und schlecht bis moderat sortierten wackestone-Bänken, dm-mächtigen, moderat sortierten, massiven und amalgamierten packstone-Bänken und cm-mächtigen, schwach bioturbierten packstone-Lagen aufbaut. Dazwischen sind immer wieder cm- bis dm-mächtige mudstone-Lagen eingeschaltet. Darauf folgt ein bis zu 60 cm mächtiges Paket, das an der Basis aus cm-mächtigen und stark bioturbierten wackestone-Lagen und gradierten packstone-Lagen besteht. Überlagert wird dies von einer Wechsellagerung aus cm- bis dm-mächtigen, moderat bis gut sortierten pack- to grainstone- und grainstone-Lagen. Nach oben hin folgt auf das Paket eine mehrere dm-mächtige Einheit, die sich aus laminierten Mergeln, cm-mächtigen mudstone-Lagen und sich immer wieder einschaltenden, cm- bis dm-mächtigen und gradierten wacke- to packstone-Lagen aufbaut. Sie wird überlagert von einem bis zu 40 cm mächtigen Paket, das sich aus mehreren cm-mächtigen Bänken zusammensetzt. Das Paket setzt sich aus Ansammlungen von Brachiopoden (z.B. *Coenothyris vulgaris*) und Bivalven (z.B. *Enantiostreon difforme*) in Lebendstellung, die mit Hartgründen assoziiert sind und gradierten packstone-Lagen zusammen. Abgeschlossen wird der distale Shoal-Zyklus durch eine dünne mudstone-Lage am Top.

*Interpretation.* Der basale mud-dominierte Bereich des Zyklus (Tafel 2) mit feinkörnigen Einschaltungen lässt sich als Ablagerung im Bereich unterhalb der SWB interpretieren. Die stark bioturbierten wackestone-Bänke und amalgamierten packstone-Bänke des darauf folgenden, fast vier Meter mächtigen Pakets deuten auf eine Ablagerung zwischen der SWB und der FWWB hin. Die amalgamierten packstone-Bänke deuten auf die proximalste Ablagerung und die eingeschalteten wackestones als distalste Ablagerung in diesem Bereich hin. Das überlagernde Paket aus gradierten packstone-Lagen an der Basis und der darüber folgenden Wechsellagerung aus pack- to grainstone- sowie grainstone-Lagen impliziert einen eindeutigen Verflachungstrend (shallowing-upward) und eine Verlagerung des Ablagerungsregimes in den Bereich der FWWB. Die darüber folgenden dm-mächtigen Mergel und mudstone-Lagen deuten auf eine Verlagerung des Ablagerungsregimes unterhalb der SWB hin. Wie schon beim proximalen Shoal-Zyklus deuten auch hier die Ansammlungen von Brachiopoden (z.B. *Coenothyris vulgaris*) und Bivalven (z.B. *Enantiostreon difforme*) in Le-

benstellung auf den Leithorizont Obere Terebratelbank hin. In Kombination mit dem Auftreten von gradierten packstone-Lagen lässt sich ebenfalls eine Ablagerung im Bereich der SWB annehmen. Die abschließende mudstone-Lage am Top impliziert eine Ablagerung unterhalb der SWB. Insgesamt zeigt der obere Bereich der Abfolge einen übergeordneten Vertiefungstrend (deepening-upward).

Aufgrund des leichten Verflachungstrends im unteren Teil (Tafel 2) und des Vertiefungstrends im oberen Teil lässt sich die Abfolge als ein regressiver/transgressiver Zyklus interpretieren. Auch dieser ist aus kleineren, m-mächtigen Minizyklen aufgebaut (PETROVIC & AIGNER 2017).

### 3.2 2D-Analyse: Laterale Faziesentwicklung

#### 3.2.1 Lokale Faziesentwicklung

*Beschreibung.* Auf dem lokalen Maßstab (wenige Kilometer) zeigt sich eine relativ gleichförmige Faziesentwicklung (Tafel 1). Anstelle von scharfen lateralen Faziesgrenzen sind die Übergänge immer graduell (PETROVIC & AIGNER 2017). Ausnahmen stellen Faziesübergänge zu *Plagunopsis*-Biohermen und Brachiopoden/Bivalven-Ansammlungen in Lebendstellung der Oberen Terebratelbank dar.

Der Obere Hauptquader ist durch die hochenergetische Shoal-Fazies (LFA 3) charakterisiert, die sich im Zuge der Regression weiter lateral ausbreitet. Lateral geht die Shoal-Fazies (LFA 3) in die Shoal-Fringe-Fazies (LFA 4) und die Transitional-Fazies über (LFA 5), die teilweise intensiv miteinander verzahnt sind. Innerhalb der Shoal-Fazies kann auch punktuell Shoal-Fringe-Fazies auftreten (PETROVIC & AIGNER 2017). Der darüber liegende transgressive Hemizyklus, in dem die Obere Terebratelbank liegt, ist aus Shoal-Fringe-, Transitional- und Offshoal-Fazies (LFA 6) aufgebaut. Speziell die Obere Terebratelbank zeigt lateral starke Variationen, indem sich Shoal-Fringe- und Transitional-Fazies immer wieder abwechseln und miteinander verzahnt sind. Sie wird von Offshoal-Fazies überdeckt, die durch den tondominierten Ostrakodenton (Bairdienton) charakterisiert wird (AUST 1969). Darüber folgt der Grenzquader (GRANER 1984), der sich aus Shoal-Fringe- und Transitional-Fazies aufbaut.

*Interpretation.* Nach PETROVIC & AIGNER (2017) repräsentiert die Basis des Oberen Hauptquaders eine initiale Wachstumsphase eines Shoal Komplexes (Tafel 1). Im Zuge der anhaltenden Regression entwickelt sich ein voll ausgebildeter Shoal Komplex, der Richtung Nordwesten progradiert. Das punktuelle Auftreten von Shoal-Fringe-Fazies innerhalb des Shoal Körpers ist vermutlich auf Eventablagerungen wie z. B. Tempestite und das intensive Verzahnen auf kleinskalige Zyklizitäten zurückzuführen (PALERMO et al. 2010; PETROVIC & AIGNER 2017). Die hohe Faziesvariation innerhalb der Oberen Terebratelbank ist vermutlich auf das unregelmäßige Auftreten von Hartgründen (Voraussetzung zum Besiedeln durch *Plagunopsis ostracina* und *Coenothyris vulgaris*) sowie starke Aufarbeitung durch Stürme zurückzuführen. Die überlagernden niedrigenergetischen Tone deuten auf ein Ertrinken des Shoal Körpers hin. Der Grenzquader am Top

spiegelt aufgrund des Auftretens der Shoal-Fringe-Fazies eine erneute initiale Wachstumsphase eines Shoal Körpers wider.

### 3.2.2 Regionale Faziesentwicklung

*Beschreibung.* Auf dem regionalen Maßstab zeigt sich eine komplexe laterale Faziesverteilung (Tafel 1). Innerhalb des Oberen Hauptquaders treten mehrere lateral voneinander getrennte Shoal-Fazies Zonen auf, die lateral in Shoal-Fringe- und Transitional-Fazies übergehen (PETROVIC & AIGNER 2017). Innerhalb der Oberen Terebratelbank setzen sich die lateralen Faziesvariationen, die schon auf lokaler Skala beschrieben wurden, fort. Der Grenzquader zeigt ähnliche laterale Faziesvariation wie der Obere Hauptquader, aber mit einem geringeren Auftreten von Shoal-Fazies (Tafel 1).

*Interpretation.* Die an der Basis des Oberen Hauptquaders auftretende Shoal-Fazies lässt sich als initiale Wachstumsphase mehrerer Shoal-Komplexe deuten (PETROVIC & AIGNER 2017), die sich im Zuge der anhaltenden Regression zu voll ausgebildeten Shoal-Komplexen entwickeln (Tafel 1). Der Grenzquader repräsentiert nur die initiale Wachstumsphase mehrerer kleinerer Shoal-Komplexe.

## 3.3 3D-Analyse: Regionale Räumliche Faziesverteilung und Paläoströmungen

### 3.3.1 Paläoströmung

*Beschreibung.* Die Strömungsmessdaten (Schrägschichtung) aus dem Oberen Hauptquader zeigen einen deutlichen Nord/Nordost-Trend (Tafel 1, Tafel 2, Tafel 3). Nur wenige Messungen zeigen einen Nordwest- und Südwest-Trend. Einzelne Messungen deuten einen Ost-Trend an. Gemessene Wellenkämme an der Basis des Oberen Hauptquaders (durchschnittliche Wellenlänge 35 cm) und am Top der Oberen Terebratelbank (durchschnittliche Wellenlänge 39 cm) haben einen dominierenden Westsüdwest-Ostnordost-Trend (Tafel 1, Tafel 2). Proximale gutter casts innerhalb der Shoal-Komplexe zeigen eine Nordwest-Südost-Orientierung. Im Gegensatz dazu zeigen distale gutter casts im Offshoal-Bereich eine Nordost-Südwest-Orientierung.

Eine Besonderheit repräsentieren die Steinbrüche um das Dorf Krensheim (Abb. 3). Im Gegensatz zu dem sonst dominierenden „layer-cake“ Aufbau des Oberen Hauptquaders zeigen sie bis zu 2 m mächtige, sigmoid-förmige, nach Westen progradierende Vorschüttungskörper (PETROVIC & AIGNER 2017) und shingle-förmige, nach Osten progradierende Vorschüttungskörper.

*Interpretation.* Die Strömungsmessungen deuten auf ein komplexes hydrodynamisches System hin (Tafel 1), was durch ein windinduziertes, Küsten-paralleles Strömungsregime dominiert wird (z. B. AIGNER 1985). Ein tidaler Einfluss ist nicht ganz auszuschließen (KOSTIC & AIGNER 2004; PETROVIC & AIGNER 2017). Die Orientierung der Wellenkämme lässt sich als Zusammenspiel aus Winden und Stürmen interpretieren (AIGNER 1985; KOSTIC & AIGNER 2004; PETROVIC & AIGNER 2017). Proximale gutter casts repräsentieren Becken-orientierte Rückströme, die

durch Stürme induziert werden. Distale gutter casts lassen sich als Sturm-induzierte Strömungen interpretieren (AIGNER 1985). Die divergent progradierenden Vorschüttungskörper um das Dorf Krensheim könnten als Tiden- und /oder Sturm-induzierte Ablagerung interpretiert werden (PETROVIC & AIGNER 2017).

### 3.3.2 Fazieskarten

Um die regionale fazielle Entwicklung besser zu verstehen, wurde basierend auf der sequenz-stratigraphischen Analyse eine Fazieskartierung durchgeführt. Die resultierenden Karten zeigen die Faziesverteilung im Zuge der (1) maximalen Regression (Top Oberer Hauptquader; Tafel 1), wenn die Shoal-Komplexe ihre größte Ausdehnung erreicht haben und im Zuge der (2) maximalen Transgression (Tafel 1) am Top der Oberen Terebratelbank.

Anstelle eines homogenen Fazieskörpers deutet die Faziesverteilung am Top des Oberen Hauptquaders auf vier individuelle Shoal-Zonen hin, die in Shoal-Fringe-Fazies eingebettet sind. Ihre Größen variieren mit Längen zwischen 5-15 km und Breiten zwischen 5-10 km (PETROVIC & AIGNER 2017). Umrandet werden sie von niedrigerenergetischen Faziesassoziationen (Transitional- und Offshoal-Fazies).

Die Fazies am Top der Oberen Terebratelbank zeigt ebenfalls eine heterogene Faziesverteilung. Sie wird charakterisiert durch Shoal-Fringe-Fazies, die in niedrigerenergetischen Faziesassoziationen (Transitional- und Offshoal-Fazies) eingebettet sind.

## 4. ABLAGERUNGSMODELLE

Basierend auf der in dieser Publikation präsentierten Ergebnisse werden zwei verschiedene Ablagerungsmodelle benötigt, um den Oberen Hauptquader-Zyklus zu beschreiben: (1) ein Ablagerungsmodell für den Oberen Hauptquader und (2) ein Modell für die Obere Terebratelbank (Tafel 4).

### 4.1 Oberer Hauptquader

Charakterisiert durch ein komplexes hydrodynamisches Regime aus Wind-induzierten Strömungen, Stürmen und vermutlich Tiden repräsentiert der Obere Hauptquader eine heterogene Faziesverteilung mit lateral graduellen Faziesübergängen (PETROVIC & AIGNER 2017). Anstelle eines einzigen großen und homogenen Fazieskörpers deuten die Daten auf ein Mosaik aus vier Shoal-Fazies-Komplexen hin, die vermutlich komplett vom Wasser bedeckt waren (Tafel 4). Ein potentiell Auftreten von Karbonatsand-(Barriere-) Inseln oder temporäres Verstranden von Teilen des Shoal-Mosaikes sind nicht auszuschließen, wie moderne Analoge zeigen: Lily Bank, Little Bahama Bank (z.B. RANKEY et al. 2006), Bu Tini Shoal, Abu Dhabi (z.B. PURSER 1973). Aufgrund von vermutlich starken Erosions- und Aufarbeitungsprozessen konnten eindeutige Beweise hierfür aber nicht gefunden werden. Ähnlich zu den Beschreibungen aus Studien über heutige Karbonat-Sandkörper (z.B. PURSER 1973; REIJMER et al. 2009; HARRIS et al. 2015) ist das übergeordnete Faziesverteilungsmuster des Shoal-Komplex-Mo-

saiks höchstwahrscheinlich eng mit geringen topografischen Variationen, das Strömungssystem und mit Lee/Luv-Positionen verknüpft. Hochenergetische und komponentenreiche Fazies (LFA 3) wurde auf flachen topografischen Erhöhungen abgelagert, während karbonatschlammreiche Fazies (LFA 4 und 5) eher in topografisch tieferen und/oder geschützten Bereichen abgelagert wurde.

#### 4.2 Obere Terebratelbank

Das Ablagerungsmodell (Tafel 4) für die Obere Terebratelbank ist charakterisiert durch ein fleckenhaftes Auftreten von Brachiopoden- und Bivalven-Ansammlungen in Lebendstellung sowie *Placunopsis*-Biohermen (LFA 4), die auf flachen topografischen Erhöhungen unterhalb der Schönwetterwellen-Basis angesiedelt sind. Sie werden umringt von niedrigerenergetischer und karbonatschlammreicher Fazies (LFA 5). Die *Placunopsis*-Bioherme treten nur punktuell auf und befinden sich eher an vor Sturmwellen geschützten Positionen. Hingegen bilden die austernbankartigen Ansammlungen von Brachiopoden und Bivalven große Flächen. Sowohl die Brachiopoden- und Bivalven-Ansammlungen als auch die *Placunopsis*-Bioherme siedeln immer auf Hartgründen, was auf verringerte Sedimentations-/Produktionsraten sowie nährstoff- und sauerstoffreiches Bodenwasser hindeutet. Es ist zu vermuten, dass küstennah kleinere hochenergetische Karbonat-Sandkörper auftreten.

### 5. SCHLUSSFOLGERUNG

Anstelle einer homogenen Faziesverteilung deckt die hier präsentierte hochauflösende, sedimentologische Untersuchung des Oberen Hauptquaders und der Oberen Terebratelbank heterogene Faziesmuster auf.

Der Obere Hauptquader ist durch ein komplexes hydrodynamisches Regime aus Wind-induzierten Strömungen und Stürmen charakterisiert und baut sich aus einem Mosaik, bestehend aus mehreren kleineren Karbonat-Sandkörpern (Shoals), auf. Shoal-interne Faziesheterogenitäten sind vermutlich auf Eventablagerungen und auf kleinskalige Meeresspiegelschwankungen zurückzuführen. Die Obere Terebratelbank ist durch ein Sturm-dominiertes Regime und durch ein lokales Auftreten von Bivalven- und Brachiopoden-Bänken sowie *Placunopsis*-Biohermen charakterisiert. Für eine detaillierte Paläorekonstruktion werden daher zwei unterschiedliche Ablagerungsmodelle benötigt.

### 6. DANKSAGUNG

Der Autor dankt der ENI S.p.A für die Finanzierung des Projekts und die Erlaubnis zur Veröffentlichung. Für die Unterstützung des Projektes bedankt sich der Autor bei den Mitgliedern der Arbeitsgruppe Sedimentgeologie der Eberhard-Karls-Universität Tübingen (THOMAS AIGNER, MATTHIAS WARNECKE, MARKUS SCHLAICH, RENATE KOSTREWA, JUDITH ADLER, LISA TAUER, MARK-ALEXANDER TILG) und bei PER JEISEKE, der die Dünnschliffe angefertigt hat. Es wird den zahlreichen Steinbruchbetrieben für den Zugang und deren Unterstützung gedankt. Außerdem

bedankt sich der Autor bei SIMON STUTZ und THEO SIMON für die redaktionelle Unterstützung.

## 7. LITERATUR

- AIGNER, T. (1985): Storm Depositional Systems. 174 S. – Lecture Notes in Earth Sciences, 3 (Springer).
- AIGNER, T. & G.H. BACHMANN (1992): Sequence-stratigraphic framework of the German Triassic. – *Sedimentary Geology*, **80**: 115–135.
- AIGNER, T., HORNING, J., JUNGHANS, W.-D. & M. PÖPPELREITER (1999): Base-level cycles in the Triassic of the South-German Basin: a short progress report. – *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie*, **7–8**: 537–544.
- AUST, H. (1969): Lithologie, Geochemie und Paläontologie des Grenzbereichs Muschelkalk-Keuper in Franken. 175 S. – Würzburg (Naturwissenschaftlicher Verein).
- BACHMANN, G.H. (1979): Bioherme der Muschel *Placunopsis ostracina* v. Schlothheim und ihre Diagenese. – *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlung*, **158**: 381–407.
- BACHMANN, G.H. & M.P. GWINNER (1971): Nordwürttemberg. – Sammlung Geologische Führer, **54** (Gebrüder Borntraeger).
- BRAUN, S. (2003): Quantitative analysis of carbonate sandbodies: Outcrop analogue study from an epicontinental basin (Triassic Germany). 93 S. – Ph.D. Thesis (University of Tübingen).
- Deutsche Stratigraphische Kommission (2016): Stratigraphische Tabelle von Deutschland. 1 S. – Potsdam (Deutsches Geo-Forschungszentrum).
- DREXLER, P. (1964): Der Quaderkalk im Hauptmuschelkalk Frankens – eine geowissenschaftliche Studie. 140 S. – Ph.D. thesis (University of Würzburg).
- DUNHAM, R.J. (1962): Classification of carbonate rocks according to depositional texture. – In: HAM, W.E. (Ed.): *Classification of carbonate rocks – a symposium*. – AAPG Memoir, **1**: 108–121.
- FLÜGEL, E. (2010): *Microfacies of carbonate rocks. – Analysis, interpretation and application*. 2<sup>nd</sup> edition. 976 S. – Berlin (Springer-Verlag).
- GEYER, O.F. & M.P. GWINNER (2011): *Geologie von Baden-Württemberg*. 627 S. – Stuttgart (Schweizerbart).
- GRANER, D. (1984): Zur Petrographie und Genese der Quaderkalkfazies (Trias, mo3, mo) im fränkisch-württembergischen Raum. 242 S. – Ph.D. thesis (University of Würzburg).
- HAGDORN, H. (2004): *Das Muschelkalkmuseum Ingelfingen*. 88 S. – Heilbronn.
- HAGDORN, H., HORN, M. & T. SIMON (1993): Vorschläge für eine lithostratigraphische Gliederung und Nomenklatur des Muschelkalks in Deutschland. – In: HAGDORN, H. & A. SEILACHER (Hrsg): *Muschelkalk Schöntaler Symposium 1991*: S. 39–56. – Sonderbände der Gesellschaft für Naturkunde in Württemberg, **2**.
- HAGDORN, H. & T. SIMON (1988): *Geologie und Landschaft des Hohenloher Landes*. 192 S. – Sigmaringen (Thorbecke Verlag).
- HARRIS, P.M., PURKIS, S.J., ELLIS, J., SWART, P.K. & J.J.G. REIJMER (2014): Mapping bathymetry and depositional facies on Great Bahama Bank. – *Sedimentology*, **62**: 566–589.

- KOSTIC, B. & T. AIGNER (2004): Sedimentary and poroperm anatomy of shoal-water carbonates (Muschelkalk, South German Basin): An outcrop-analogue study of inter-well spacing scale. – *Fazies*, **50**: 113–131.
- KOZUR, H. (1974): Biostratigraphie der germanischen Mitteltrias. – *Freiberger Forschungshefte*, **C280**: 7–56.
- LONGIARU, S. (1987): Visual comparators for estimating the degree of sorting from plane and thin sections. – *Journal of Sediment Petrology*, **57**: 791–794.
- MARSAGLIA, K.M. & G. DE VRIES KLEIN (1983): The paleogeography of Paleozoic and Mesozoic storm depositional systems. – *The Journal of Geology*, **91**: 117–142.
- MENNING, M., HAGDORN, H., KÄNDIG, K.-C., SIMON, T., SZURLIES, M. & E. NITSCH (2005): Zeitskala für Perm und Trias in der Stratigraphischen Tabelle von Deutschland 2002, zyklustratigraphische Kalibrierung von höherer Dyas und Germanischer Trias und das Alter der Stufen Radium bis Rhaetium 2005. – *Newsletters on Stratigraphy*, **41**: 173–210.
- MÜLLER, A. (1950): Stratonomische Untersuchung im Oberen Muschelkalk des Thüringer Beckens. – *Geologica*, **4**: 1–74.
- PALERMO, D., AIGNER, T., NARDON, N. & W. BLENDINGER (2010): Three-dimensional facies modelling of carbonate sand bodies: Outcrop analogue study in an epicontinental basin (Triassic, southwest Germany). – *AAPG Bulletin*, **94**: 475–512.
- PARRISH, J.T. (1993): Climate of supercontinent Pangea. – *Journal of Geology*, **101**: 215–233.
- PETROVIC, A. & T. AIGNER (2017): Are shoal reservoirs discrete bodies? A Coquina shoal outcrop analogue from the Mid-Triassic Upper Muschelkalk, SW Germany. – *Journal of Petroleum Geology*, **40** (3): 249–275.
- RANKEY, E.C., RIEGL, B. & K. STEFFEN (2006): Form, function and feedbacks in a tidally dominated ooid shoal, Bahamas. – *Sedimentology*, **53**: 1191–1210.
- REIJMER, J.J.G., SWART, P.K., BAUCH, T., OTTO, R., REUNING, L., ROTH, S. & S. ZECHEL (2009): A re-evaluation of facies on Great Bahama Bank I: New facies maps of western Great Bahamas Bank. – In: SWART, P.K., EBERLI, G.P. & J.A. MCKENZIE (Ed.): *Perspectives in Carbonate Geology*: S. 29–46. – IAS Special Publication, **41**.
- PURSER, B.H. & G. EVANS (1973): Regional sedimentation along the Trucial Coast, SE Persian Gulf. – In: PURSER, B.H. (Ed.): *The Persian Gulf – Holocene carbonate sedimentation and diagenesis in a shallow epicontinental sea*: S. 211–232. – Berlin (Springer-Verlag).
- SANDBERGER, F. (1867): Die Gliederung der Würzburger Trias und ihrer Äquivalente. – *Würzburger naturwissenschaftliche Zeitung*, **6**: 131–155.
- URLICHS, M. & R. MUNDLOS (1987): Revision der Gattung *Ceratites* de Haan 1825 (Ammonoidea, Mitteltrias). 36 S. – *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde*, **128**.
- URLICHS, M. & R. MUNDLOS (1990): Zur Ceratiten-Stratigraphie im Oberen Muschelkalk (Mitteltrias) Nord-Württembergs. – *Jahreshefte der Gesellschaft für Naturkunde in Württemberg*, **145**: 59–74.
- VISCHER, H. & C.J. VAN DER ZWAN (1981): Palynology of the Circum-Mediterranean Triassic phytogeographical and palaeoclimatological implications. – *Geologische Rundschau*, **70**: 625–634.

**VOLLRATH, A.** (1938): Zur Stratigraphie und Bildung des Oberen Hauptmuschelkalkes in Mittel- und Westwürttemberg. – Jahresberichte und Mitteilungen des Oberrheinischen Geologischen Vereins, **27**: 69–80.

**VOLLRATH, A.** (1955): Zur Stratigraphie des Hauptmuschelkalkes in Württemberg. – Jahrbuch des Geologischen Landesamts Baden-Württemberg, **1**: 79–168.

**WAGNER, G.** (1913): Beiträge zur Stratigraphie und Bildungsgeschichte des Oberen Hauptmuschelkalks und der Unteren Lettenkohle in Franken. – Geologische und Paläontologische Abhandlungen, **12**: 31–180.

**WENTHWORTH, C.K.** (1922): A scale of grade and class terms for clastic sediments. – Journal of Geology, **30**: 377–392.

**ZIEGLER, A.M., ESHEL, G., McALLISTER REES, P., ROTHFUS, T.A., ROWLEY, D.B. & D. SUNDERLIN** (2003): Tracing the tropics across land and sea: Permian to present. – Lethaia, **36**: 227–254.

#### Adresse des Autors:

DR. ALEXANDER PETROVIC (ehemals Universität Tübingen)

Fachbereich Geowissenschaften

Universität Bremen

Klagenfurter Straße 2-4

28334 Bremen

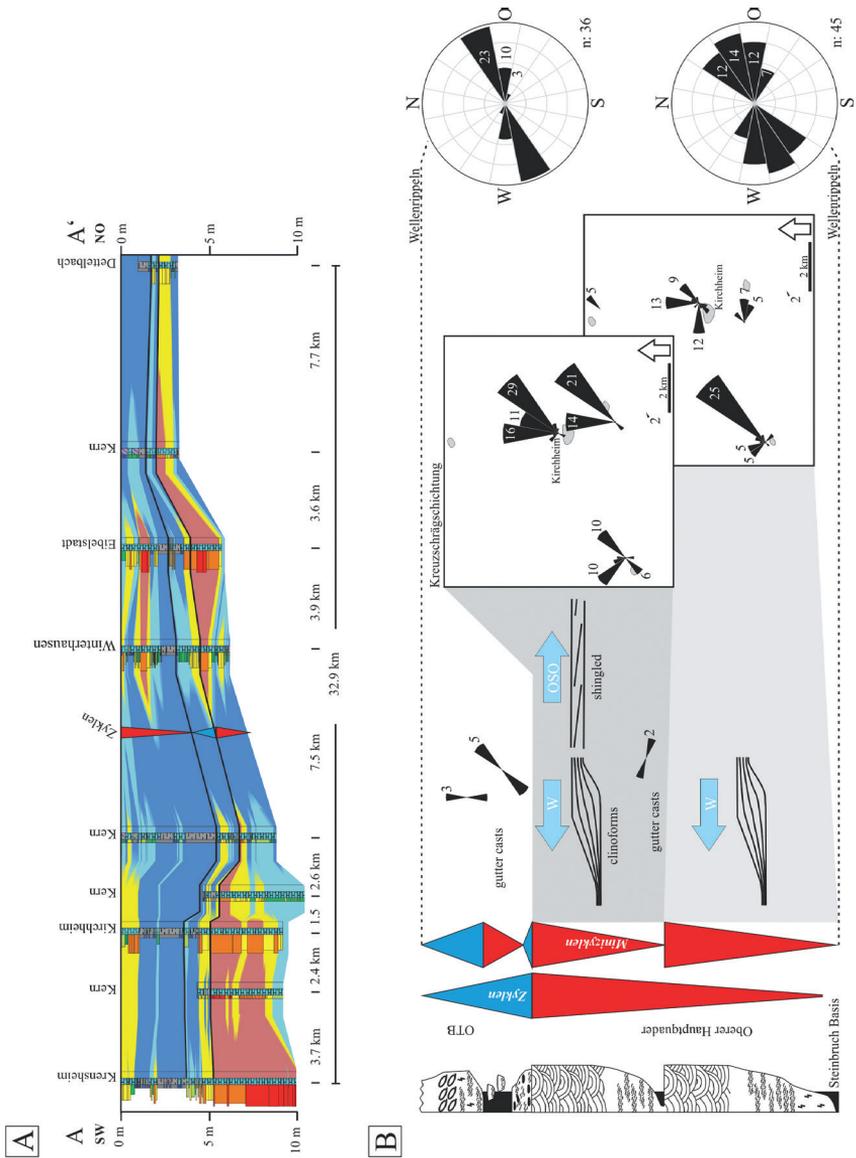
Email: alexander.petrovic@uni-bremen.de

**Tafel 1:** [A] Die stratigraphische Korrelation A-A' zeigt eine heterogene Faziesverteilung und eine sequenz-stratigraphisch basierte Architektur des Oberen Hauptquader-Zyklus (modifiziert nach PETROVIC & AIGNER 2017). [B] Vertikale und laterale Veränderungen und Variationen der Paläoströmungen im Oberen Hauptquader-Zyklus (Minizyklen nach PETROVIC & AIGNER 2017).

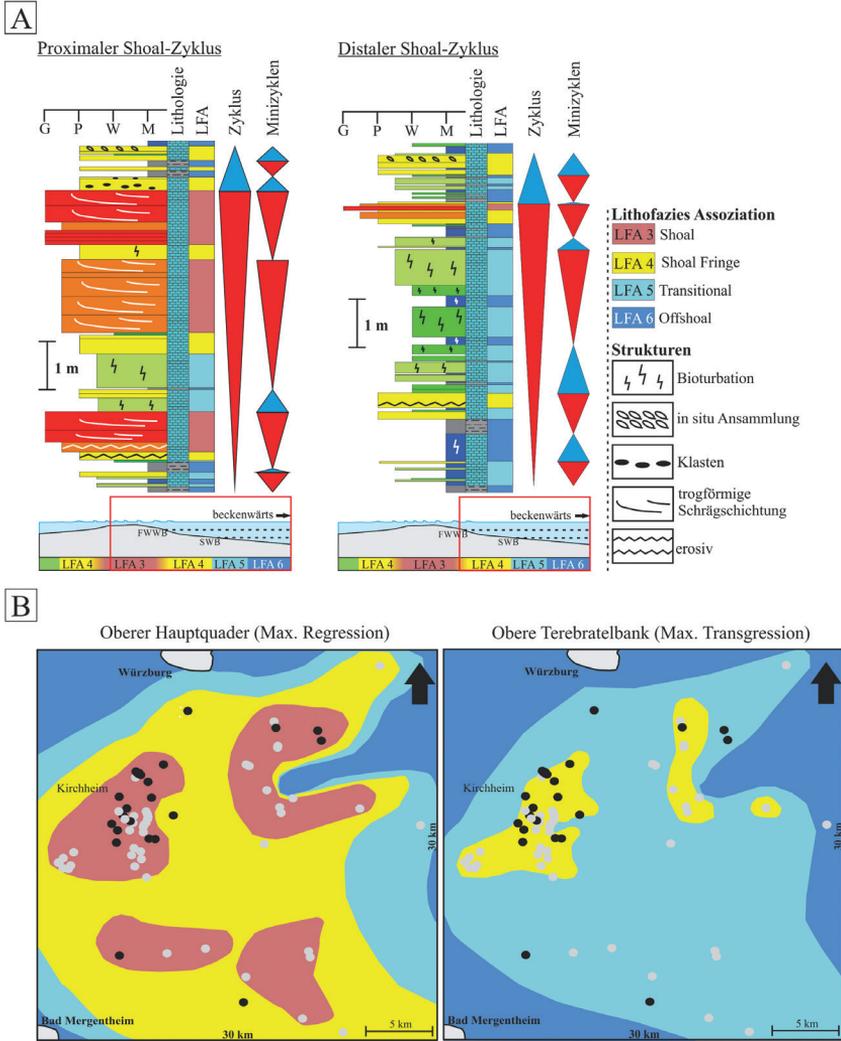
**Tafel 2:** [A] Darstellung des proximalen und distalen Shoal-Zyklus, inklusive vertikaler Veränderungen der Lithologie und der Karbonat-Textur. Minizyklen nach der Interpretation von PETROVIC & AIGNER (2017). Beide Zyklen-Typen konnten im Ganzen nur in Bohrkernen beschrieben werden (modifiziert nach PETROVIC & AIGNER 2017). [B] Faziesverteilungskarten des Oberen Hauptquaders (modifiziert nach PETROVIC & AIGNER 2017) zur maximalen Regression und der Oberen Terebratelbank während der maximalen Transgression. Die Geometrien und Formen der Shoal-Komplexe sind an Analoge aus dem heutigen Persischen/Arabischen Golf angelehnt.

**Tafel 3:** [A] Typischer Aufschluss des Oberen Hauptquaders, der Oberen Terebratelbank und der überlagernden Schichten (Ostrakodenton, Grenzquader) im Gebiet Gaubüttelbrunn. Die Abbildung zeigt auf der rechten Seite eine 1D-Faziesanalyse und assoziierte Zyklizitäten, sowie in der Mitte ein Gamma Ray Profil. [B] Basis eines Steinbruchs in Kirchheim: Die Abbildung (I) zeigt submarine Dünen, die nach Nordost wandern. (II) Detailansicht der Schrägschichtungsblätter und statistische Auswertung der Paläo-Strömungsrichtung.

**Tafel 4:** Paläo-Rekonstruktion des Oberen Hauptquaders (modifiziert nach PETROVIC & AIGNER 2017) und der Oberen Terebratelbank.

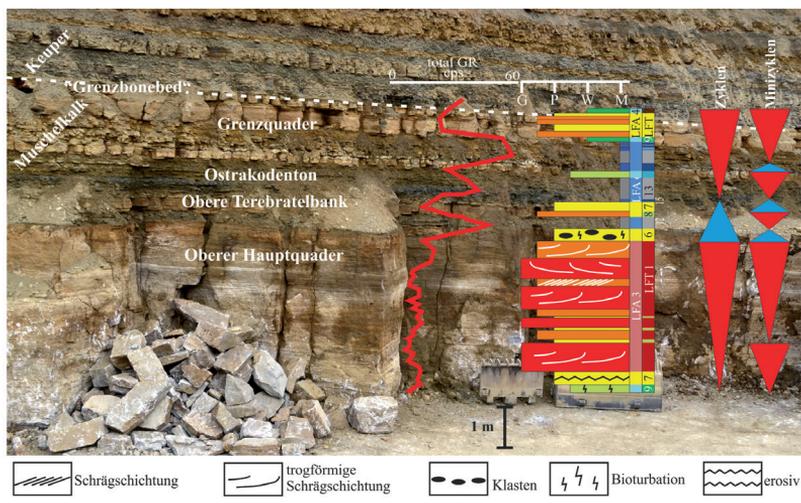


Tafel 1

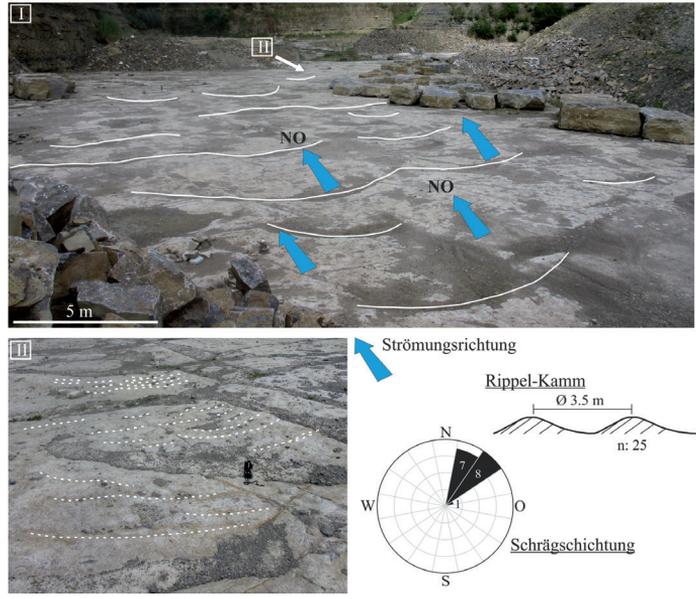


Tafel 2

A

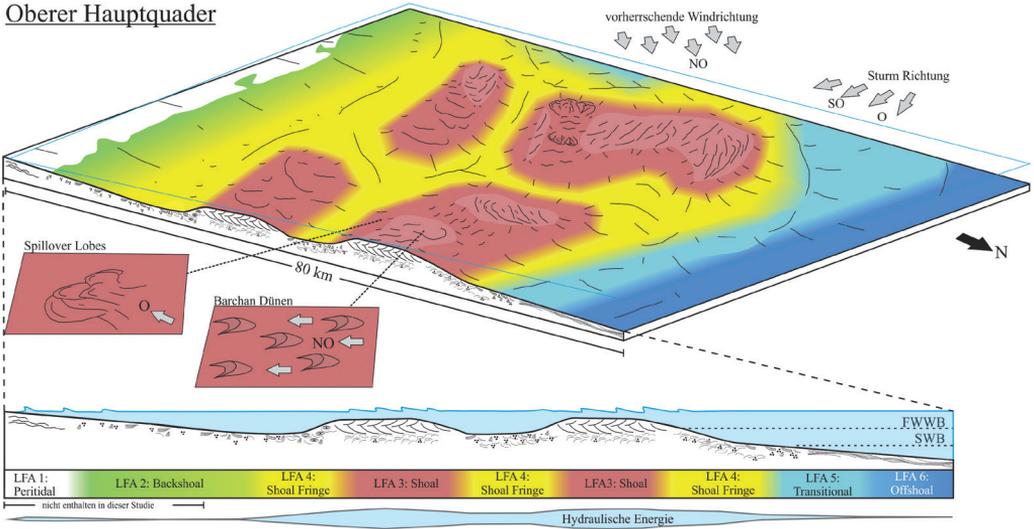


B

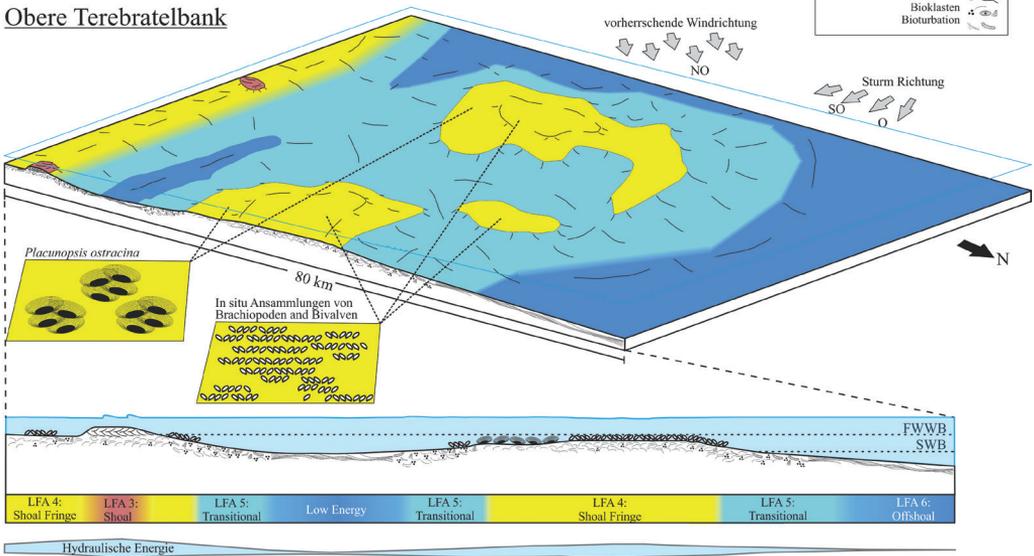


Tafel 3

Oberer Hauptquader



Oberer Terebratelbank



Tafel 4