

Sedimentologie: Paradigmenwechsel zum Ablagerungsmechanismus von Ton und Silt

Michael KOTULLA

Dieses PDF-Dokument enthält zu o. g. Artikel die Anmerkungen 1 bis 53 (Stand 31. 08. 2017).

Nr. Anmerkung

- ¹ MACQUAKER & BOHACS (2007, 1734): „The results call for a critical reappraisal of all mudstones previously interpreted as having been continuously deposited under still waters.”
- ² System Sonne bezieht sich auf Orbitalvariationen:

Die Erde soll Messungen und Extrapolationen zufolge – ausgelöst durch die Interaktion der Himmelskörper des Sonnensystems – quasi-periodische Wechsel in ihrer Orientierung relativ zur Sonne vollziehen. Diese auch als astronomische Parameter der Erde (Orbitalparameter, Milankovitch-Zyklen) bezeichneten Schwankungen (= Orbitalvariationen) haben unterschiedliche Ursachen und Prägungen. Zu den theoretischen astronomischen Zyklen der Präzession, Obliquität und Exzentrizität sowie den Methoden der Zyκλοstratigraphie und Astrochronologie siehe KOTULLA (2015a).
- ³ MACQUAKER & BOHACS (2007, 1734): „Such rocks are widely used to infer past climates, ocean conditions, and orbital variations.”
- ⁴ Klastische Sedimentgesteine, die fast ausschließlich aus Quarz und anderen Silikat-Mineralen bestehen – Minerale die sich aus Si_xO_y -Komplexen zusammensetzen.
- ⁵ Die Definition der Korngröße Ton variiert, z. B.:

MURAWSKI & MEYER (2017): < 0,02 mm (Stichwort Ton).
DIN EN ISO 14688-1: < 0,002 mm (z. B. in GROTZINGER & JORDAN 2017).
- ⁶ Es wird in Teilen der Definition und Klassifizierung feinklastischer Gesteine nach FÜCHTBAUER & MÜLLER (1977, 130ff) gefolgt. Vgl. z. B. mit MERRIMAN et al. (2003).
- ⁷ Siehe u. a. FELDER & HARMS (2004) sowie KOTULLA (2015b).
- ⁸ Eine Nomenklatur sowie Beschreibungsrichtlinien zur Erfassung von Schlüsselattributen

Nr. Anmerkung

feinkörniger Sedimentgesteine (< 0,0625 mm) für Aufschluss, Kern und Dünnschliff, die die aktuellsten Forschungsergebnisse berücksichtigt, sind kürzlich von LAZAR et al. (2015) vorgeschlagen worden.

⁹ Als übergeordneter Begriff wird häufig der Ausdruck Pelit verwendet. Die Definition ist allerdings nicht einheitlich. Einerseits werden unter Pelit Korngrößen von < 0,02 mm (Ausschluss von Grobsilt) und andererseits Korngrößen von < 0,063 mm (Einschluss von Grobsilt) subsumiert.

¹⁰ Analog müsste hier ein „(bzw. Schiefersilt)“ hinzugefügt werden, gebräuchlich ist im Deutschen aber eher „schiefriger Siltstein“.

¹¹ Vgl. z. B. FÜCHTBAUER & MÜLLER (1977, 3): „Den drei genannten Transportarten entsprechen die drei Haupttypen der Sedimente

1. Sandsteine; Konglomerate und Breccien (Bodenfracht)
2. Ton- und Siltsteine (Suspension)
3. Karbonatgesteine und Salze (gelöst)“

¹² SCHIEBER et al. (2007):

„Our observations do not support the notion that muds can only be deposited in quiet environments with only intermittent weak currents (...). Instead, bedload transport of flocculated mud and deposition occurs at current velocities that would also transport and deposit sand (...)“ (S. 1761).

„Because mudstones were long thought to record low-energy conditions of offshore and deeper water environments, our results call for reevaluation of published interpretations of ancient mudstone successions and derived paleoceanographic conditions“ (S. 1760).

¹³ Ein vertikaler Materialtransport innerhalb der Wassersäule wird damit nicht ausgeschlossen. Die Sedimentstrukturen und weitere Merkmale geben vielmehr Hinweise auf Bedingungen am Beckenboden bzw. in seiner Nähe.

¹⁴ Im Original (SCHIEBER 2011a): „Essentially, the experiments presented here demonstrate that many long-held assumptions about mud deposition and erosion do not agree with physical realities.“

¹⁵ Siehe Titel von SCHIEBER (2011a): „Shifting Paradigms in Shale Sedimentology – The Implications of Recent Flume Studies for Interpreting Shale Fabrics and Depositional Environments“.

¹⁶ SCHIEBER et al. (2007, 1760): „To improve on this situation, it is essential to conduct experiments that replicate natural conditions and to compare the experimental sediments to the rock record.“

¹⁷ Die Whitby-Mudstone-Formation in Yorkshire (Küste) ist etwa 120 m mächtig. Sie wird vom

Nr. Anmerkung

Liegenden zum Handenden untergliedert in: Grey-Shale-Subformation, Mulgrave-Shale-Subformation (32 m*), Alum-Shale-Subformation (ca. 50 m), Peak-Mudstone-Subformation und Fox-Cliff-Siltstein-Subformation (ca. 10 m). Die Mulgrave-Shale-Subformation wiederum wird in eine untere Einheit, Jet Rock, und eine obere Einheit gegliedert. – Nach COPE (2006, 339); * nach MACQUAKER (2012).

18 Der Kimmeridge Clay bzw. die Kimmeridge-Clay-Formation sind nach der kleinen Ortschaft Kimmeridge (Isle of Purbeck, Dorset) an der Kimmeridge-Bucht benannt (Abb. 1).

Nach der Küstenlokalität Kimmeridge ist die Kimmeridgium-Stufe benannt. Die Stufe ist bislang nicht formal definiert. GSSP-Kandidat ist die Lokalität Flodigarry (Isle of Skye, Nordwest-Schottland); <http://stratigraphy.org/GSSP/index.html>.

19 Siehe GALLOIS (2004).

20 Siehe SCOTCHMAN (1987, 537).

21 Siehe British Geological Survey (BGS), BGS-Lexikon der benannten Gesteinseinheiten, Stichwort: Kimmeridge Clay Formation; <http://www.bgs.ac.uk/lexicon/lexicon.cfm?pub=KC>.

22 Bezieht sich auf die Typ-Lokalität (Küstenabschnitt Isle of Purbeck) und zwei naheliegende mitteltiefe Bohrungen im Hinterland der Isle of Purbeck.

23 TOC, total organic carbon (gesamter organischer Kohlenstoff).

Zusammensetzung und Lithologie etwas detaillierter (nach MORGANS-BELL et al. 2001):

Der Kimmeridge Clay (Küstenaufschluss) baut sich hauptsächlich aus vier Komponenten auf: Tonminerale (20-65 %), Quarz (12-40 %; Silt- bis Feinsandfraktion), Karbonatminerale und Kerogen (organisches Material).

Es werden vier Schiefertone/Tonstein-Ausbildungen unterschieden: a) graue Mergel, Schichtdicken häufig 3-4 m, ohne Internstruktur (makroskopisch), TOC-Gehalt 1-3 Gew.-%; b) schwarze Schiefertone, teilweise laminiert, Schichtdicken meistens 0,3-2 m, TOC-Gehalt 6 Gew.-%; c) graue bis schwarze, laminierte Schiefertone, Schichtdicken typischerweise 0,1-1m, sehr gute Spaltbarkeit („Papier-Schiefer“), TOC-Gehalt 3-26 Gew.-%; d) schwarze Tonsteine, feinlaminiert (nur mit Handlupe erkennbar), auch als „Ölschiefer“ bezeichnet, mit verteilten Pyritknollen, TOC-Gehalt 8-15 Gew.-%, Maxima > 35 Gew.-%.

24 Siehe auch MACQUAKER et al. (2010).

25 Die Beschreibungen, Analysen und Interpretationen beziehen sich auf Proben der Kimmeridge-Clay-Formation, Kimmeridge Bay (Dorset) und der Whitby-Mudstone-Formation (inkl. der liegenden Cleveland-Ironstone-Formation), Kliffe zwischen Staithes und Port Mulgrave (Yorkshire). Die Gesamtaussagen von MACQUAKER (2011) konnten vom Verfasser nicht in jedem Fall eindeutig den unterschiedlichen Lokalitäten zugewiesen werden.

Nr. Anmerkung

²⁶ Zu Warven und zur warvenchronologischen Methode s. KOTULLA (2014, Blatt 3-01 ff).

²⁷ Siehe MACQUAKER (2012, Folie 48).

²⁸ Siehe z. B. TYSON et al. (1979) oder für „Schwarzschiefer“ generell WIGNALL (1994).

²⁹ Siehe OSCHMANN (1990), CHAMBERS et al. (2000) und HUANG et al. (2010). HUANG et al. (2010) „eichen“ die Bildungszeit der Kimmeridge-Clay-Formation zur Anwendung der Zyκλοstratigraphie grob mit Jahresschichten. Laminaen (ca. Ø 1 mm dick) der in kleiner Anzahl eingeschalteten Coccolithen-Kalksteine werden als Jahresschichten interpretiert; diese Ø Sedimentationsrate wird sodann auf die Gesamtheit der Kimmeridge-Clay-Formation extrapoliert. – Zur Methodik und Aussagekraft der Zyκλοstratigraphie und Astrochronologie siehe KOTULLA (2015a).

³⁰ Siehe BOHACS et al. (2005).

³¹ In diesem Zusammenhang ist auch die Diskussion über die Wassertiefe bemerkenswert (vgl. auch COPE 2006, 359). Während TYSON et al. (1979) eine Wassertiefe von mehreren 100 m vorschlagen, führt AIGNER (1980) Indizien für eine Größenordnung von etwa 10 m an, insbesondere das (häufige) Auftreten von vertikal eingebetteten Ammoniten sowohl in den Tonsteinen („mudstones“) als auch in den Schiefer-tonen („bituminous shales“):

„The occurrence of vertically embedded ammonites in both facies suggests that shallow water depth predominated; following the experiments and mathematical-hydrodynamical calculations of RAUP (1973) and WEAVER & CHAMBERLAIN (1976) it would be less than 10 m. However RAUP (personal communication) comments, that the 10 m proposed should be considered as an order of magnitude. Nevertheless, this is still in agreement with the depth (15-30 m: 50-100 feet) suggested by HALLAM (1967, 1975) for Jurassic Black Shale formation“ (AIGNER 1980, 334-335).

Damit liefert AIGNER (1980) auch ein weiteres Indiz für eine rasche Sedimentation; denn so TRABUCHO-ALEXANDRE (2015, 264): „It is very difficult to accept that an aragonitic shell could be exposed on the seafloor for hundreds of years without gaining any encrusting epifauna or being dissolved away completely (cf. Paul et al. 2008 for a similar discussion using a Blue Lias Formation example).“ Diese Aussage bezieht sich auf horizontal eingebettete Ammoniten; umso mehr mag sie für vertikal (senkrecht) eingebettete Ammoniten gelten. – Siehe auch Abschnitt „Jet-Rock-Tonsteine“ des Artikels des Verfassers.

Des Weiteren führt AIGNER (1980) zahlreiche Indizien für Bewegtwasser und Strömungsaktivität auf.

³² Die Sedimentfolge ist entlang der Küste gut aufgeschlossen. Die Mächtigkeit variiert leicht. Die Schicht-Nummerierung bezieht sich auf das Profil „Hawsker Bottoms“ nach HOWARTH (1955). Die „Jet-Rock-Abfolge“ ist der Abschnitt von Schicht 33 bis inklusive Schicht 40 (HOWARTH 1962).

Nr. Anmerkung

33 a) Subzonen mit gleicher Dauer

Die Dauer von ca. 0,54 Millionen [radiometrischen] Jahren (TRABUCHO-ALEXANDRE 2015, 263) für jede Ammoniten-Subzone lässt sich anhand der angegebenen Referenzen nicht abschließend nachvollziehen; vermutlich basiert der Wert auf einer Dauer der Toarcium-Stufe von 8,6 Millionen [radiometrischen] Jahren (ohne Unsicherheiten; vgl. GRADSTEIN et al. 2012) und 16 Subzonen.

JENKYN (1988, 130) nennt ca. 0,50 Millionen [radiometrische] Jahre: „For the purposes of discussion I thus conventionally assume a duration of 1 my for the *falciferum* Zone. (...) However, given that these sedimentary and isotopic anomalies, within the present level of stratigraphical resolution, are apparently confined to the period of time represented by half an ammonite zone, the duration of the early Toarcium OAE is suggested as approx 500,000 yrs.“

JENKYN & CLAYTON (1997): keine zeitlichen Angaben.

HALLAM (1997, 775) errechnet auf Grundlage der radiometrischen Kalibrierung durch GRADSTEIN et al. (1994) für die Toarcium-Stufe eine Dauer von 0,63 Millionen [radiometrischen] Jahren für jede Ammoniten-Subzone (Basis: Dauer der Stufe 9,5 Millionen [radiometrische] Jahre, ohne Unsicherheiten; 15 Subzonen).

b) Subzonen mit ungleicher Dauer

MCARTHUR et al. (2000, 270) gehen von einer linearen Veränderung des $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisses mit der Zeit aus und schließen u. a. (S. 279): „The duration of the *exaratum* subzone (1.1 Myr) is longer than the 0.5 Myr previously thought (...)“. In Table 2 wird für die *exaratum*-Subzone der Wert 1,080 Millionen [radiometrische] Jahre ausgewiesen; das relativ 30,3-Fache der Dauer der *clevelandicum*-Subzone. – Ihre zeitlichen Ankerpunkte allerdings basieren auf der radiometrischen Kalibrierung des Jura-Systems (PÁLFY et al. 1997, 1998).

34 Zur Zyклоstratigraphie siehe Anmerkungen 2 und 29.

35 Ca. 0,30 Millionen [radiometrische] Jahre: COHEN et al. (2007).
Ca. 0,90 Millionen [radiometrische] Jahre: SUAN et al. (2008).

36 Modifikation des Calciumkarbonats – $\text{Ca}[\text{CO}_3]$.

37 TRABUCHO-ALEXANDRE (2015) mit Verweis auf WALSH et al. (2004, 2492): „Sediment accumulation rates appear to be a function of water depth, with largest rates (> 2 cm/yr) between 15 and 45m (...)“.

38 TRABUCHO-ALEXANDRE (2015, 264): „If we accept a sedimentation rate of 2 cm a^{-1} (cf. Walsh et al. 2004), which would bury an ammonite lying horizontally on the seafloor relatively quickly, we come to the conclusion that the entire Jet Rock succession could represent less than 2 ka of sedimentation, and that most of the time is recorded in bedding planes and other surfaces produced by erosion and nondeposition.“

39 Bezogen auf die Spanne von 1,08 bis 0,15 Millionen [radiometrischen/Warven-] Jahren.

Nr. Anmerkung

TRABUCHO-ALEXANDRE (2015, 264) nennt eine Größe von 65 % bis > 80 % der Zeit, die nicht durch das Gestein repräsentiert sein soll: „The deposition of the lower Toarcian rock record of Yorkshire clearly only required a small fraction of the time available for sedimentation. The succession contains countless erosional surfaces that may range from diastem to unconformity (Figs 2, 3 & 6). The amount of time not represented by rock in the succession – 65% to > 80% of the time – must therefore be contained in these erosional surfaces, and this explains why the accumulation rate obtained by dividing the thickness of the deposit by the length of the interval it occupies is much lower than the deposition rates measured directly in equivalent modern environments (...).“

40 Die Schichten 33, 35, 37 und 40 enthalten karbonatische Konkretionen. Zum Wachsen der Konkretionen nimmt TRABUCHO-ALEXANDRE (2015, 264) eine Ca-Zufuhr aus dem Bereich der Sediment/Wasser-Grenzfläche an; damit will er die Vorstellung von gravierenden Sedimentationsunterbrechungen stützen: „In order to grow, these large calcareous concretions require Ca supply by diffusion from the sediment/water interface. The concretionary levels must therefore represent breaks in sedimentation. This supports the interpretation drawn from the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ record that the Jet Rock is condensed (at these concretion horizons) relative to other parts of the lower Jurassic sequence (McArthur et al. 2000) and that during much of the time no net sedimentation occurred.“

Zur Dauer der angenommenen, gravierenden Sedimentationsunterbrechungen äußert sich TRABUCHO-ALEXANDRE (2015) nicht.

41 Indiana University, Pressemitteilung vom 13. Dezember 2007: „One thing we are very certain of is that our findings will influence how geologists and paleontologists reconstruct Earth's past.“

42 Siehe auch <http://www.shale-mudstone-research-schieber.indiana.edu/index.htm>. Die Aktualität der einzelnen Seiten ist nicht einheitlich (von 2006 bis 2017).

43 Siehe BERLAMONT et al. (1993).

44 Die Experimente waren nicht dazu bestimmt, die Sedimentationsraten von Ton (bzw. Silt) zu untersuchen. Um eine Sedimentlage mit einer Dicke von etwa 2 cm zu produzieren, bedarf es eines Experimentes mit einer Durchführungszeit von 4-8 Wochen. Diese lange Laufzeit ist u. a. nötig um gewisse Gelichgewichtszustände herzustellen; diese Prozeduren würden nicht die Natur imitieren.

45 Dies gilt insbesondere dann, wenn der verfügbare Ausschnitt zur Beobachtung horizontal nur wenige cm beträgt, z. B. bei Bohrkernen.

46 Die virtuelle Kompaktion erfolgte mit dem Bildbearbeitungsprogramm „Photoshop“. Die Sedimente wurden zunächst mit Kunstharz imprägniert, um anschließend – nach Aushärtung – Dünnschliffe herstellen zu können. Die Digitalbilder der Dünnschliffe wurden sodann mit „Photoshop“ (senkrecht zur Schichtung) gestaucht. Siehe Fig. 9-11 in SCHIEBER et al. (2010).

Nr. Anmerkung

47 SCHIEBER et al. (2010) merken an, dass eine Kompaktion von Akkumulationen von Kotpillen („fecal pellets“) oder zahlreichen Grabgängen vergleichbare linsenförmige Gefüge in Schiefertonen hervorbringen können. Diese seien aber von der durch Erosion hervorgerufenen linsenförmigen Lamination durch petrographische Kriterien unterscheidbar, z. B. durch eine kleindimensionierte, dreidimensionale Erfassung des Sediment(gesteins)körpers (Erstellung von entsprechenden Schnitten).

48 Siehe YAWAR & SCHIEBER (2015, Folie 1): „The coarse silt forms separate ripples that travel through the flume channel at the same time as floccule ripples, and over time a deposit of interlaminated coarse silt and clay (with fine silt) accumulates. This relationship is directly matched by silt laminated shales from the rock record and suggests a comparable origin.”

49 Siehe YAWAR & SCHIEBER (2015, Folie 28). Kursiv durch den Verfasser.

50 Siehe YAWAR & SCHIEBER (2015, Folie 1): „Although in a number of ancient shales, the dissemination of fine silt within clay beds has been interpreted as an indication of eolian input, the process observed in our experiments is most likely a better explanation for the majority of cases.”

51 Die „Küste von Dorset und East Devon“ – dazu gehört der Teilabschnitt „Jura-Küste“ (Jurassic Coast) – ist auf Antrag in die UNESCO-Welterbeliste aufgenommen worden. Die Stätte in Südengland erstreckt sich über einen Abschnitt von 150 km mit einer „herausragenden Kombination weltweit signifikanter geologischer und geomorphologischer Erscheinungen.“ Die jurassischen Gesteine treten zwischen Lyme Regis und Swanage zutage; einem Küstenabschnitt von etwa 100 km Länge.

UNESCO-Kurzbeschreibung, siehe <http://whc.unesco.org/en/list/1029>:

„Dorset and East Devon Coast

The cliff exposures along the Dorset and East Devon coast provide an almost continuous sequence of rock formations spanning the Mesozoic Era, or some 185 million years of the earth's history. The area's important fossil sites and classic coastal geomorphologic features have contributed to the study of earth sciences for over 300 years.

Outstanding Universal Value

Brief synthesis

The Dorset and East Devon Coast has an outstanding combination of globally significant geological and geomorphological features. The property comprises eight sections along 155 km of largely undeveloped coast. The property's geology displays approximately 185 million years of the Earth's history, including a number of internationally important fossil localities. The property also contains a range of outstanding examples of coastal geomorphological features, landforms and processes, and is renowned for its contribution to earth science investigations for over 300 years, helping to foster major contributions to many aspects of geology,

Nr. Anmerkung

palaeontology and geomorphology. This coast is considered by geologists and geomorphologists to be one of the most significant teaching and research sites in the world. (...)“

Zu „(...) displays approximately 185 million years of the Earth's history“ siehe *Erdgeschichte als Tatsache* (KOTULLA 2016).

⁵² Siehe die Website (<http://www.theetchescollection.org/home>; Zugriff 6. Juni 2017) oder die Broschüre *Stories from deep time* (Kimmeridge Trust and Project Team 2014; <http://www.theetchescollection.org/download?id=3634>).

⁵³ Siehe GLASS et al. (2012).

Literatur

- AIGNER T (1980) Biofabrics and stratigraphy of the Lower Kimmeridge Clay (U. Jurassic, Dorset, England). *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.* 159, 324-338.
- BERLAMONT J, OCKENDEN M, TOORMAN E & WINTERWERP J (1993) The characterization of cohesive sediment properties. *Coastal Engineering* 21, 105-128.
- BOHACS KM, GRABOWSKI GJ, CARROLL AR, MANKIEWICZ PJ, MISKELL-GERHARDT KJ, SCHWALBACH JR, WEGNER MB & SIMO JA (2005) Production, destruction, and dilution – The many paths to source-rock development. In: HARRIS NB (ed.) *The Deposition of Organic-Carbon-Rich Sediments: Models, Mechanisms, and Consequences*, SEPM Special Publication 82, 61-101.
- CHAMBERS MH, LAWRENCE DSL, SELLWOOD BW & PARKER A (2000) Annual layering in the Upper Jurassic Kimmeridge clay formation, UK, quantified using an ultra-high resolution SEM-EDX investigation. *Sed. Geol.* 137, 9-23.
- COHEN AS, COE AL & KEMP DB (2007) The Late Palaeocene Early Eocene and Toarcian (Early Jurassic) carbon isotope excursions: a comparison of their time scales, associated environmental changes, causes and consequences. *Journal of the Geological Society* 164, 1093-1108.
- COPE JCW (2006) Jurassic: the returning seas. In: BRENCHLEY PJ & RAWSON PF (Eds) *The Geology of England and Wales*, 2nd edition, 325-364.
- ETCHES S, CLARKE J & CALLOMON J (2009) Ammonite eggs and ammonitellae from the Kimmeridge Clay Formation (Upper Jurassic) of Dorset, England. *Lethaia* 42, 204-217.
- FELDER M & HARMS F-J (2004) Lithologie und genetische Interpretation der vulkano-sedimentären Ablagerungen aus der Grube Messel anhand der Forschungsbohrung Messel 2001 und weiterer Bohrungen (Eozän, Messel-Formation, Sprenndlinger Horst, Südhessen). *Courier Forschungsinstitut Senckenberg* 252, 151-206.
- FÜCHTBAUER H & MÜLLER G (1977) *Sedimente und Sedimentgesteine*. 3. Auflage, Stuttgart.
- GALLOIS RW (2004) The Kimmeridge Clay: the most intensively studied formation in Britain. *Open University Geological Journal* 25, 1-14.
- GLASS K, ITO S, WILBY PR, SOTA T, NAKAMURA A, BOWERS CR, VINTHER J, DUTTA S, SUMMONS R, BRIGGS DEG, WAKAMATSU K & SIMON JD (2012) Direct chemical evidence for eumelanin pigment from the Jurassic period. *PNAS* 109, 10218-10223.

- GRADSTEIN FM, AGTERBERG FP, OGG JG, HARDENBOL J, VAN VEEN P, THIERRY J & HUANG Z (1994) A Mesozoic time scale. *Journal of Geophysical Research* 99, B12, 24051-24074.
- GRADSTEIN FM, OGG JG, SCHMITZ MD & OGG GM (Eds.) (2012) *The Geologic Time Scale 2012*. Volume 1/2, Oxford Amsterdam.
- GROTZINGER J & JORDAN T (2017) *Press/Siever: Allgemeine Geologie*. 7. Auflage.
- HALLAM A (1967) An Environmental Study of the Upper Domerian and Lower Toarcian in Great Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B* 252, 393-445.
- HALLAM A (1997) Estimates of the amount and rate of sea-level change across the Rhaetian-Hattangian and Pliensbachian-Toarcian boundaries (latest Triassic to early Jurassic). *Journal of the Geological Society London* 154, 773-779.
- HOWARTH MK (1955) Domerian of the Yorkshire coast. *Proc. Yorks. Geol. Soc.* 30, 147-175.
- HOWARTH M K (1962) The Jet Rock Series and the Alum Shale Series of the Yorkshire Coast. *Proceedings of the Yorkshire Geological and Polytechnic Society* 33, 381-422.
- HUANG C, HESSELBO SP & HINNOV L (2010) Astrochronology of the late Jurassic Kimmeridge Clay (Dorset, England) and implications for Earth system processes. *Earth and Planetary Science Letters* 289, 242-255.
- JENKYN HC (1998) The early Toarcian (Jurassic) anoxic event: stratigraphic, sedimentary, and geochemical evidence. *American Journal of Science* 288, 101-151.
- JENKYN HC & CLAYTON CJ (1997) Lower Jurassic epicontinental carbonates and mudstones from England and Wales: chemostratigraphic signals and the early Toarcian anoxic event. *Sedimentology* 44, 687-706.
- Kimmeridge Trust and Project Team (2014) *Stories from deep time*.
- KOTULLA M (2014) Gültigkeit und Grenzen geologischer Zeitbestimmung. Online-Loseblattsammlung, Stand: 1. Ergänzungslieferung 03/2014, <http://www.wort-und-wissen.de/loseblattsammlung.html>.
- KOTULLA M (2015a) Sedimentfolgen und ihre Interpretation: Zyklustratigraphie und das Milankovich-Zyklen-Syndrom. W+W Special Paper G-15-1, Baiersbronn; <http://www.wort-und-wissen.de/artikel.html>.
- KOTULLA M (2015b) War der Messelsee ein Kurzzeitsee? *Studium Integrale Journal* 22, 106-110.
- KOTULLA M (2016) Erdgeschichte als Tatsache. *Studium Integrale Journal* 23, 83-93.
- LAZAR OM, BOHACS KM, MACQUAKER JHS, SCHIEBER J & DEMKO TM (2015) Capturing Key attributes of fine-grained sedimentary rocks in outcrops, cores, and thin sections: nomenclature and description guidelines. *Journal of Sedimentary Research* 85, 230-246.
- MACQUAKER JHS (2011) Stratigraphic aspects of tight shales. In: MCLENNAN J (Ed.) *Evolution of the mental picture of tight shales*. Monograph, First Shale Science Conference; Warschau.
- MACQUAKER JHS (2012) Are shales really that dull? Shining light into dark places and the effects of opening Pandora's Box. Präsentation zum CSPG Technical Luncheon am 6. Februar 2012.
- MACQUAKER JHS & BOHACS KM (2007) On the Accumulation of Mud. *Science* 318, 1734-1735.
- MACQUAKER JHS, KELLER MA & DAVIES SJ (2010) Algal blooms and "marine snow": mechanisms that enhance organic carbon preservation in ancient fine-grained sediments. *Journal of Sedimentary Research* 80, 934-942.
- MARTHUR JM, DONOVAN DT, THIRLWALL MF, FOUKE BW & MATTEY D (2000) Strontium isotope profile of the early Toarcian (Jurassic) oceanic anoxic event, the duration of ammonite biozones, and belemnite palaeotemperatures. *Earth and Planetary Science Letters* 179, 269-285.
- MERRIMAN RJ, HIGHLEY DE & CAMERON DG (2003) Definition and characteristics of very-fine grained sedimentary rocks: clay, mudstone, shale and slate. British Geological Survey Commissioned Report, CR/03/281N.

- MORGANS-BELL HS, COE AL, HESSELBO SP, JENKYN HC, WEEDON GP, MARSHALL JEA, TYSON RV & WILLIAMS CJ (2001) Integrated stratigraphy of the Kimmeridge Clay Formation (Upper Jurassic) based on exposures and boreholes in south Dorset, UK. *Geol. Mag.* *138*, 511-539.
- MURAWSKI H & MEYER W (2017) *Geologisches Wörterbuch*. 12. überarbeitete und erweiterte Auflage.
- OSCHMANN W (1990) Environmental cycles in the late Jurassic northwest European epeiric basin: interaction with atmospheric and hydrospheric circulations. *Sed. Geol.* *69*, 313-332.
- PÁLFY J, PARRISH RR & SMITH PL (1997) A U-Pb age from the Toarcian (Lower Jurassic) and its use for time scale calibration through error analysis of biochronologic dating. *Earth Planet. Sci. Lett.* *146*, 659-675.
- PÁLFY J, SMITH PL & MORTENSEN JK (1998) A revised numeric time scale for the Jurassic. *Proceedings of the International Symposium on Jurassic Stratigraphy*. Vancouver.
- PAUL CRC, ALLISON PA & BRETT CE (2008) The occurrence and preservation of ammonites in the Blue Lias Formation (Lower Jurassic) of Devon and Dorset, England and their palaeoecological, sedimentological and diagenetic significance. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, *270*, 258-272.
- RAUP DM (1973) Depth inferences from vertically embedded cephalopods. *Lethaia* *6*, 217-226.
- SCHIEBER J (2011a) Reverse engineering mother nature – Shale sedimentology from an experimental perspective. *Sedimentary Geology* *238*, 1-22.
- SCHIEBER J, SOUTHARD J & SCHIMMELMANN A (2010) Lenticular Shale Fabrics Resulting from Intermittent Erosion of Muddy Sediments – Comparing Observations from Flume Experiments to the Rock Record. *Journal of Sedimentary Research* *80*, 119-128.
- SCHIEBER J, SOUTHARD J & THAISEN K (2007) Accretion of Mudstone Beds from Migrating Floccule Ripples. *Science* *318*, 1760-1763.
- SCOTCHMAN IC (1987) Clay diagenesis in the Kimmeridge Clay Formation, onshore UK, and its relation to organic maturation. *Mineralogical Magazine* *51*, 535-551.
- SUAN G, PITTET B, BOUR I, MATTIOLI E, DUARTE LV & MAILLIOT S (2008) Duration of the Early Toarcian carbon isotope excursion deduced from spectral analysis: consequence for its possible causes. *Earth and Planetary Science Letters* *267*, 666-679.
- TRABUCHO-ALEXANDRE J (2015) More gaps than shale: erosion of mud and its effect on preserved geochemical and palaeobiological signals. *Geological Society, London, Special Publications* *404*, 251-270.
- TYSON RV, WILSON RCL & DOWNIE C (1979) A stratified water column environmental model for the type Kimmeridge Clay. *Nature* *277*, 377-380.
- WALSH JP, NITTROUER CA, PALINKAS CM, OGSTON AS, STERNBERG RW & BRUNSKILL GJ (2004) Clinof orm mechanics in the Gulf of Papua, New Guinea. *Continental Shelf Research* *24*, 2487-2510.
- WEAVER JS & CHAMBERLAIN JA (1976) Equations of motion for post-mortem sinking of cephalopod shells and the sinking of Nautilus. *Paleobiology* *2*, 8-18.
- WIGNALL PB (1994) *Black Shales*. Oxford Monographs on Geology and Geophysics *30*, Oxford.
- YAWAR Z & SCHIEBER J (2015) Flume Studies with Graded Quartz and Mixtures of Quartz, Kaolinite and Illite – Implications for Silt Laminated Shales in the Rock Record. Adapted from oral presentation, AAPG Annual Convention & Exhibition 2015. Search and Discovery Article #51141.