

Hochauflösende Stratigraphie im Unteren Muschelkalk (Mitteltrias, Anis) des Germanischen Beckens

Annette E. Götz*



Götz, A. E. (2002): Hochauflösende Stratigraphie im Unteren Muschelkalk (Mitteltrias, Anis) des Germanischen Beckens.- In: W. Rosendahl & A. Hoppe (Hg.): Angewandte Geowissenschaften in Darmstadt.- Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Heft 15: 101-107; 3 Abb. [ISBN 3-932537-15-7].

Abstract

Lower Muschelkalk carbonates of the epicontinental Germanic Basin are a classical field of research since the late nineteenth century. Based on the well established lithostratigraphic and biostratigraphic framework the main interest of recent works is high-resolution stratigraphy. Generally, the evolution of carbonate systems in Mesozoic times spans some million years. The Lower Muschelkalk represents approximately 3 million years within the Middle Triassic. Metre-scale sedimentary cycles which are the basic stratigraphic building blocks of the succession document short-term sea level fluctuations. They are interpreted either as high-frequency sequences, parasequences, or asymmetrical transgressive/regressive cycles with an estimated duration of 100 000 years. This eustatic signal may document the astronomically controlled cyclicity of the Milankovitch frequency range.

Kurzfassung

Der Untere Muschelkalk des Germanischen Beckens wird seit dem 19. Jahrhundert wissenschaftlich bearbeitet und zählt damit zu den klassischen Forschungsgebieten der Karbonatsedimentologie. Basierend auf der hervorragenden Litho- und Biostratigraphie werden in jüngster Zeit insbesondere Arbeiten zur hochauflösenden Stratigraphie durchgeführt. Die Entwicklung von mesozoischen Karbonatsystemen umfasst Zeiträume von einigen Millionen Jahren. Für den Unteren Muschelkalk wird eine Zeitdauer von ca. 3 Millionen Jahren angenommen. Sedimentationszyklen im Meterbereich bilden die stratigraphischen Basiseinheiten der Ablagerungsserie. Sie können als hochfrequente Sequenzen, Parasequenzen oder asymmetrische T/R-Zyklen interpretiert werden, deren Zeitdauer auf 100 000 Jahre geschätzt wird. Dieses eustatische Signal dokumentiert kurzzeitige, klimatisch induzierte Meeresspiegelschwankungen im Frequenzbereich der Milankovitch-Zyklizität.

Einleitung

Der Untere Muschelkalk des Germanischen Beckens ist seit dem 19. Jahrhundert Gegenstand wissenschaftlicher Forschung. Erste Untersuchungen zur Stratigraphie und Sedimentologie wurden von Bornemann (1886) durchgeführt, die lithostratigraphische Gliederung Mitteldeutschlands geht auf Frantzen (1889) und Frantzen & Koenen (1889) zurück. Diese Pionierarbeiten bilden die Basis der bis heute zur überregionalen Korrelation angewandten Leitbankstratigraphie (vgl. Hagdorn et al. 1987). Dabei wird davon ausgegangen, dass diese Bänke isochron sind, d.h. beckenweit zeitgleich abgelagert wur-

den. Die zeitliche Auflösung, die traditionell auf biostratigraphischen Daten beruht, ist jedoch zu gering, um kurzzeitige Veränderungen des Ablagerungssystems zu erfassen. Dadurch bleibt eine Korrelation von Lithofaziesseinheiten unpräzise.

Ziel der hochauflösenden Stratigraphie ist es daher, Faziesreihen und deren Stapelungsmuster räumlich und zeitlich zu analysieren und hierarchisch zu gliedern. Ein charakteristisches Sedimentationsmuster der Karbonate des Unteren Muschelkalk ist die zyklische Abfolge von Faziesreihen im Meterbereich.

* Dr. A. E. Götz, Institut für Angewandte Geowissenschaften der Technischen Universität Darmstadt, Schnittspahnstr. 9, D-64287 Darmstadt; agoetz@geo.tu-darmstadt.de

Diese Zyklizität wurde erstmals von Fiege (1938) in Aufschlüssen Nordwestdeutschlands erkannt und durch die sedimentpetrographischen Untersuchungen von Schüler (1967) und Schulz (1972) bestätigt.

Detaillierte Untersuchungen zur zyklischen Sedimentation im Unteren Muschelkalk wurden in den letzten Jahren mittels sedimentologisch-fazieller Analysen (Götz 1994, 1996) und geochemischer Untersuchungsmethoden (Seidel & Loeck 1993, Langbein & Stepanyk 1996, Hautmann 1997) durchgeführt. Darüber hinaus werden in jüngster Zeit Ichnofazies (Knaust 1998), Palynofazies (Götz & Feist-Burkhardt 2000, Rameil et al. 2000) und Gamma-ray Logs (Kedzierski 2000) zur sequenzstratigraphischen Interpretation und hochauflösenden Korrelation kleinzyklischer Faziesreihen herangezogen.

Paläogeographie und Fazies

Die paläogeographische Entwicklung des Germanischen Beckens ist durch großräumige Riftingprozesse im Zuge der Öffnung des Nordatlantiks und der Tethys beeinflusst. In Mitteleuropa bildeten der Dänisch-Polnische Trog sowie die Hessisch-Thüringische Senke die strukturprägenden Elemente innerhalb des Beckens (Abb. 1). Entlang dieser beiden Senkungszone war die Subsidenz am stärksten (Szulc 1999).

Die Ablagerung von Karbonaten begann im Germanischen Becken mit der Muschelkalk-Transgression über die Ostkarpaten Pforte und Schlesisch-Mährische Pforte im mittleren Anis (Szulc 1999). Eine zweite Transgressionsphase im höheren Anis, zu Beginn des Pelsons, folgte mit der Öffnung der Burgundischen Pforte (Kedzierski 2000). Diese westliche Verbindung des Germanischen Beckens mit dem tethyalen Raum über die Burgundische Pforte blieb bis zum Ende des Unteren Muschelkalk bestehen. Die regressive Entwicklung ab dem oberen Anis (Illyr) hatte in den westlichen Beckenteilen schließlich die Ablagerung der Evaporitserien des Mittleren Muschelkalk zur Folge.

Im Zentrum des Beckens ist die typische Wellenkalkfazies mit flaserigen Kalksteinen anzutreffen. Die lithostratigraphische Gliede-

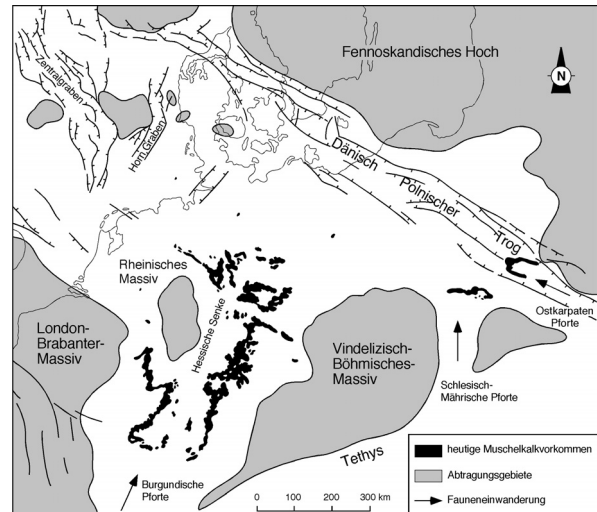


Abb. 1: Paläogeographie des Unteren Muschelkalk, verändert nach Ziegler (1990) und Hagdorn (1991).

rung der Beckensedimente beruht auf der Ausbildung markanter bioklastischer Bänke („Leitbänke“), die überregional korreliert werden können (vgl. Hagdorn et al. 1987). Die biostratigraphische Zonierung basiert auf Conodonten (Kozur 1974), Pollen und Sporen (Mädler 1964) sowie Crinoiden (Hagdorn 1991).

An den Beckenrändern sind dolomitische Serien anzutreffen, die im Süden tonigmergelig ausgebildet sind und im westlichen Randbereich sandige Partien enthalten (vgl. Schwarz 1970, 1977). Eine litho- oder biostratigraphische Korrelation mit den Muschelkalkablagerungen im Beckenzentrum ist bisher noch ungenau. In den östlichen Beckenarealen begann die Karbonatsedimentation bereits im Röt (vgl. Szulc 2000). Flaserige Wellenkalk bilden auch dort den dominierenden Lithofaziestyp. Als Besonderheit sind Korallenbioherme im obersten Abschnitt des Unteren Muschelkalk zu nennen, welche im zentralen Germanischen Becken fehlen (vgl. Szulc 1993). Eine Korrelation mit den Beckensedimenten ist aufgrund der detaillierten Biostratigraphie möglich (vgl. Szulc 1999).

Zyklizität und Sequenzanalyse

Die sequenzstratigraphische Analyse von marinen Karbonatsystemen wird seit einigen Jahren mit großem Erfolg angewendet (vgl. Loucks & Sarg 1993). Ziel ist die Untergliederung stratigraphischer Abfolgen in chro-

nostratigraphische Einheiten, sogenannte Sequenzen, begrenzt von korrelierbaren Diskontinuitätsflächen.

Ein erstes sequenzstratigraphisches Konzept für den Germanischen Muschelkalk wurde von Aigner & Bachmann (1992) vorgestellt (Abb. 2). Danach bildet der Untere Muschelkalk die erste Ablagerungssequenz dritter Ordnung innerhalb der Mitteltrias, deren Zeitdauer auf ca. 3 Millionen Jahre geschätzt wird (Gradstein et al. 1995, Menning 1995). Die Sequenzgrenzen befinden sich im Oberen Buntsandstein an der Basis des Rötquarzit sowie im Mittleren Muschelkalk an der Basis der Evaporite. Amalgamierte Bankfolgen und zahlreiche Omissionsflächen (Fest- und Hartgründe) der Terebratelbänke belegen eine Mangelsedimentation während des relativen Meeresspiegelhöchststandes, der Phase maximaler Überflutung (mfz) im mittleren

Profilabschnitt. Die Schaumkalkbänke dokumentieren eine deutliche Verflachung des Ablagerungsraumes zum Ende des Unteren Muschelkalk. Peloide bilden die Hauptkomponenten dieser Flachwasserkarbonate. Die Ausbildung einzelner Bänke variiert in Anzahl und Mächtigkeiten. Dies lässt auf progradierende, sich beckenwärts vorbauende Sedimentkörper schließen.

Szulc (1999) unterscheidet im Unteren Muschelkalk Oberschlesiens zwei Sequenzen dritter Ordnung (An4/An5). Die jeweiligen Sequenzgrenzen werden an der Basis des Unteren Muschelkalk, d.h. am Top des Grenzgelbkalk, und am Top der Oolithbänke diskutiert (Abb. 2). In Mitteldeutschland lässt die Faziesentwicklung der Oolithbänke eine Verflachung des Ablagerungsraumes durch progradierende Faziesgürtel und die Ausbildung von Gelbkalken erkennen (vgl. Götz 1996). Diese Verschiebung der Fazieszonen in Richtung Becken kann als regressives Signal während des späten Hochstand System Trakts (HST) aufgefasst werden. Emersionsflächen, welche als Sequenzgrenze interpretiert werden können, sind jedoch nur von den Beckenrändern belegt (Szulc 1999, Pedersen 2001).

Auch ein Vergleich mit den mitteltriassischen Ablagerungen der nördlichen Tethys (vgl. Rüffer & Bechstadt 1998) stellt eine Untergliederung des Unteren Muschelkalk im Germanischen Becken in zwei Sequenzen dritter Ordnung zur Diskussion. Die Sequenzen A3 und A4, welche in den Nördlichen Kalkalpen von Rüffer & Zühlke (1995) beschrieben wurden, scheinen den Sequenzen An4 und An5 im östlichen Germanischen Becken zu entsprechen (Szulc 1999). Darüber hinaus lässt sich die Bildung erster offenmariner Kalke im Hallstätter Faziesraum und die Ablagerung transgressiver Knollenkalke auf dem nordalpinen Schelf mit dem Bereich um die Terebratelbänke des Unteren Muschelkalk im Germanischen Becken korrelieren (Rüffer 1999), d.h. zeitgleich zur pelsonischen Transgression im nordalpinen Raum erreichte der Meeresspiegel im Germanischen Becken einen Höchststand.

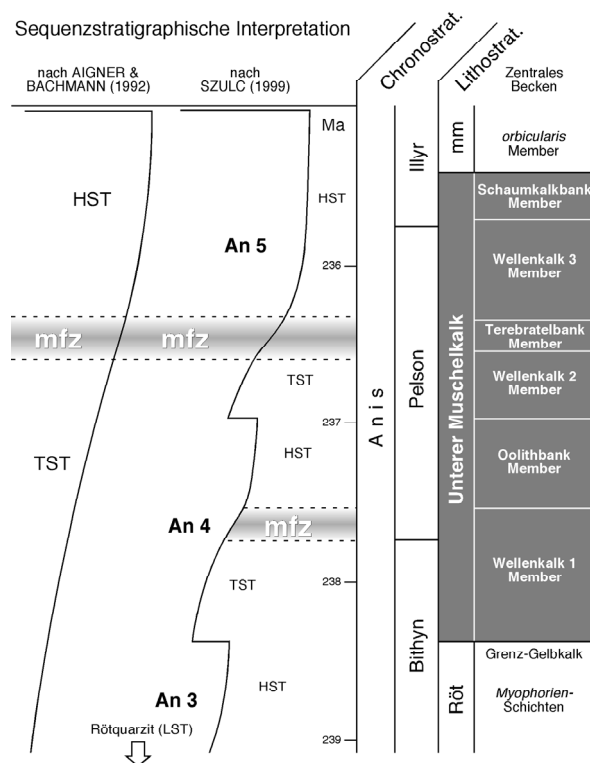


Abb. 2: Sequenzstratigraphie des Unteren Muschelkalk im Germanischen Becken. Verwendete Abkürzungen: LST - Lowstand Systems Tract (Tiefstand System Trakt), TST - Transgressive Systems Tract (Transgressiver System Trakt), HST - Highstand Systems Tract (Hochstand System Trakt), mfz - maximum flooding zone (Zone maximaler Überflutung), An 3, An 4, An 5 - Sequenzen 3 bis 5 innerhalb des Anis. Zeitskala in Millionen Jahren (Ma) nach Gradstein et al. (1995).

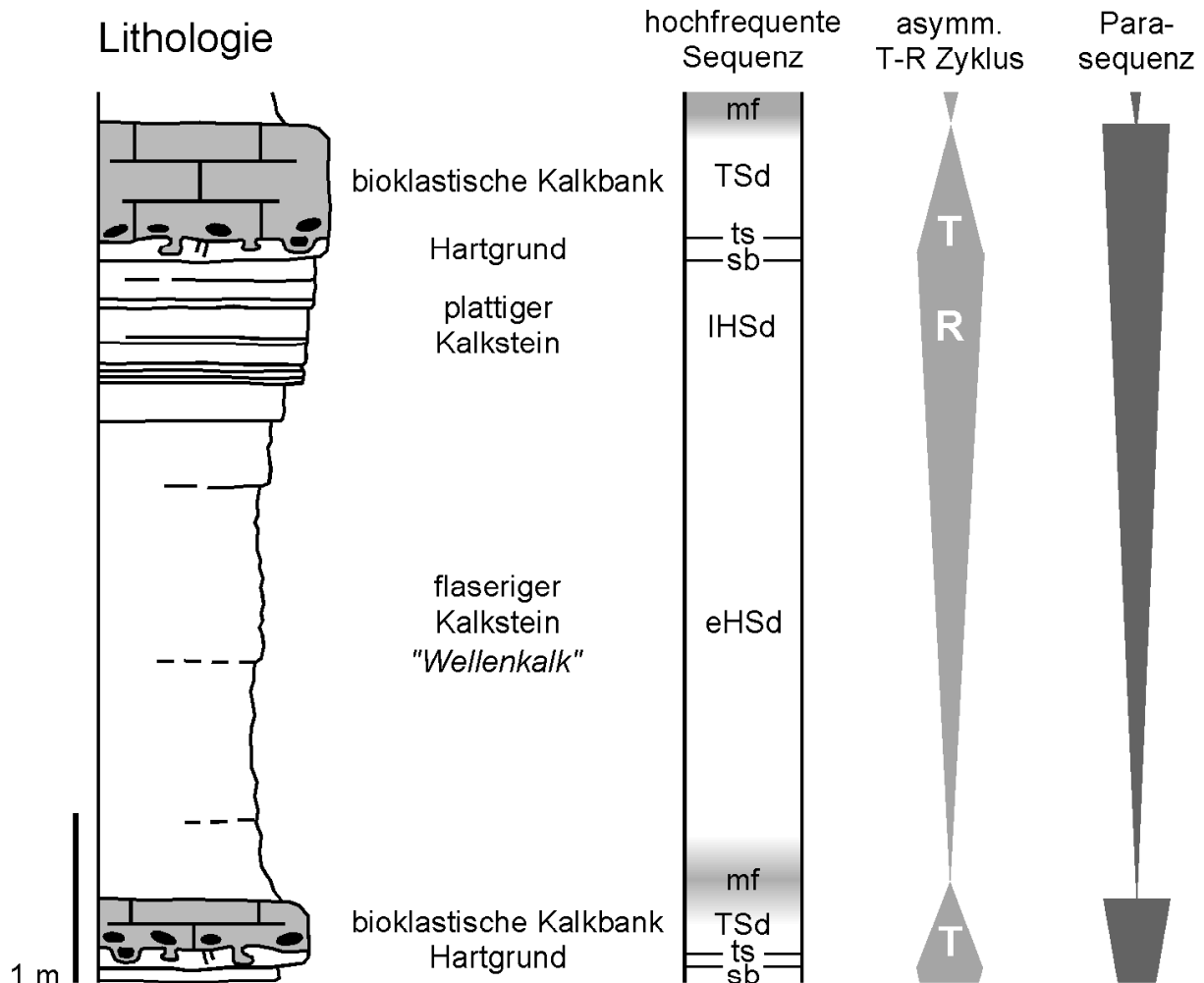


Abb. 3: Sequenzstratigraphische Interpretation von asymmetrischen Sedimentationszyklen im Unteren Muschelkalk, verändert nach Götz (1996) und Götz & Feist-Burkhardt (1999). Verwendete Abkürzungen: sb - *sequence boundary*, ts - *transgressive surface*, mf - *maximum flooding*, TSd - *transgressive deposits*, eHSd - *early highstand deposits*, IHSd - *late highstand deposits*. T - Transgression, R - Regression.

Die Basiseinheiten der gesamten Schichtenfolge sind transgressiv-regressive Sedimentationszyklen von einigen Metern Mächtigkeit, die in charakteristischen Faziesreihen übereinander lagern (Götz & Feist-Burkhardt 1999). Diese Kleinzyklen wurden von Knaust (1998) als Parasequenzen (vgl. Van Wagoner et al. 1990) beschrieben und alternativ als hochfrequente Sequenzen (Götz 1996, Götz & Feist-Burkhardt 1999) interpretiert, welche von Sequenzgrenzen begrenzt werden (vgl. Mitchum & Van Wagoner 1991). Solche Sequenzen wurden von Vail et al. (1991) als *simple sequences* bezeichnet. Sie entsprechen den Sequenzen im Meterbereich (*small-scale sequences*) nach Strasser et al. (1999). Es handelt sich um asymmetrische Sedimentationszyklen mit einem geringmächtigen transgressiven Ast

(Intraklastbank, *transgressive deposits*) und einem mächtigeren Anteil an mikritischen Kalken, welche während des Meeresspiegelhochstand abgelagert wurden (Wellenkalk/Plattenkalk, *highstand deposits*). Im späten Hochstand System Trakt (IHST) der Muschelkalk-Sequenz(en) dritter Ordnung sind die Plattenkalke der Kleinzyklen als lagunäre Dolomite (Gelbkalke) ausgebildet (Oolithbank-Member, Schaumkalkbank-Member).

Die Phase maximaler Überflutung ist meist nicht als scharfe Fläche zu diagnostizieren, sondern anhand der Fazies innerhalb der Bänke abzugrenzen. Oftmals sind am Top der Bänke kondensierte Intervalle mit amalgamierten Horizonten anzutreffen. Der abrupte Wechsel Intraklastbank/Wellenkalk kann daher als Grenzfläche maximaler Überflutung (*maximum flooding surface*) interpretiert

tiert werden. Ablagerungen des Meeresspiegeltiefstand (*lowstand deposits*) fehlen, sodass Sequenzgrenze (*sequence boundary*) und transgressive Überflutungsfläche (*transgressive surface*) an der Basis der intraklastischen Bänke als eine erosive Fläche ausgebildet sind (Götz 1996, Rameil et al. 2000). Aufgearbeitete Lithoklasten stammen von den liegenden mikritischen Plattenkalken bzw. von Hartgründen, welche erosiv angeschnitten oder vollständig erodiert sind. Diese Erosionsflächen sind im zentralen Becken über große Distanzen zu verfolgen.

Die Mächtigkeiten der Zyklen nehmen im Unteren und Mittleren Wellenkalk, dem transgressiven Intervall des Unteren Muschelkalk, generell zu. Im Oberen Wellenkalk, dem regressiven Ast der Sequenz, ist eine Abnahme der Zyklenmächtigkeit zu beobachten. Dieser Abschnitt der Muschelkalk-Sequenz, der späte Hochstand System Trakt, ist durch progradierende Faziesreihen gekennzeichnet. Beckenwärts wandernde Sedimentkörper sind insbesondere in der lateralen Ausbildung der Schaumkalkbänke dokumentiert. Die Zyklen des Transgressiven System Trakts zeigen hingegen für epikontinentale Becken typische aggradierende Sedimentationsmuster (vgl. Wignall 1991).

Die vertikale Abfolge von transgressiv/regressiven Kleinzyklen ist in vielen flachmarinen Karbonatsystemen zu beobachten (vgl. Wilson 1975). Im Unteren Muschelkalk lassen sich im zentralen Becken mindestens 20 Kleinzyklen ausscheiden (Götz 1994, Götz & Feist-Burkhardt 1999). Als Bildungsmechanismen werden auto- und allozyklische Prozesse diskutiert (vgl. Strasser 1991). Mit einer ausschließlich beckenintern gesteuerten, autozyklischen Verlagerung von Fazieszonen sind die erstaunlich regelmäßigen Zyklenmuster im Unteren Muschelkalk nicht zu erklären. Die kleinzyklischen Faziesreihen lassen sich überregional sehr gut korrelieren und sind zumindest im Beckenzentrum vollständig dokumentiert. Die Zyklizität wurde daher im wesentlichen durch allozyklische Prozesse, d.h. eustatische Meeresspiegelschwankungen oder relative Meeresspiegeländerungen durch tektonische Bewegungen

innerhalb des Beckens gesteuert. Eine Beeinflussung der zyklischen Sedimentation durch tektonische Bewegungen wird von Szulc (1999) für den Unteren Muschelkalk allerdings ausgeschlossen. Kurzzeitige Meeresspiegelschwankungen können jedoch als klimatisch induzierte Fluktuationen interpretiert werden, deren Ursachen in astronomischen Zyklen des Sonnensystems (Milankovitch-Zyklen) liegen. Bei einer Gesamtdauer des Unteren Muschelkalk von 2 bis 3 Millionen Jahren (Harland et al. 1990, Gradstein et al. 1995, Menning 1995, Hardenbol et al. 1998) könnten die 20 überregional ausgebildeten Zyklen somit das Signal der Exzentrizitäts-Variation von durchschnittlich 100 000 Jahren (1. Exzentrizitätszyklus) abbilden.

Durch die Überlagerung hochfrequenter mit langzeitigen Meeresspiegelschwankungen ist die Ausbildung einzelner signifikanter Diskontinuitätsflächen, d.h. Überflutungsflächen oder Sequenzgrenzen, wie sie aus seismischen Profilen interpretiert werden, in Aufschlüssen und Bohrungen nicht zu erwarten. Das eustatische Signal ist vielmehr in einem größeren Intervall im Profil dokumentiert. Daher werden diese Bereiche als Zone der maximalen Überflutung (MFZ) bzw. Zone der Sequenzgrenze (SBZ) bezeichnet (vgl. Montañez & Osleger 1993, Pasquier & Strasser 1997).

Im Unteren Muschelkalk ist die Phase des relativen Meeresspiegelhöchststandes in einem Schichtintervall von ca. 15 m von der thüringischen Spiriferinabank bis zu den Terebratelbänken mit mindestens drei Sedimentationszyklen höherer Ordnung beckenweit dokumentiert. Eine zeitliche Abschätzung anhand der Anzahl und durchschnittlichen Dauer der Zyklen würde eine maximale Überflutungsphase von mehreren 100 000 Jahren belegen, wobei die absolute Zeitdauer der kondensierten Bankfolgen dieses Intervalls am größten ist.

Ziel der jüngsten Arbeiten aus dem Unteren Muschelkalk des Germanischen Beckens ist eine integrierte Beckenanalyse, welche die räumlich-zeitliche Entwicklung ausgedehnter Karbonatrampensysteme innerhalb eines vom offenen Ozean abgetrennten, intrakratori-

schen Beckens beschreibt. Die Anwendung von relativ jungen Disziplinen wie Palynofazies und Ichnofazies liefert neue Daten zur Rekonstruktion des Ablagerungsraumes, welche durch den zykl- und sequenzstratigraphischen Ansatz mit hohem zeitlichen Auflösungsvermögen zum besseren Verständnis der Stapelungsmuster genetisch isochroner Sedimentpakete auf der Basis von Litho- und Biostratigraphie beitragen werden.

Schriftenverzeichnis

- Aigner, T. & Bachmann, G.H. (1992): Sequence-stratigraphic framework of the German Triassic. - *Sed. Geol.*, **80**: 115-135; Amsterdam.
- Bornemann, J.C. (1889): Beiträge zur Kenntnis des Muschelkalkes, insbesondere der Schichtenfolge und der Gesteine des Unteren Muschelkalkes in Thüringen. - *Jb. Kgl. Preuss. Geol. Landesanst. u. Bergakad.*, **1885**: 267-321; Berlin.
- Fiege, K. (1938): Die Epirogenese des Unteren Muschelkalkes in Nordwestdeutschland. - *Zentr. Mineral. Geol. Paläont.*, **1938 B**: 143-170; Stuttgart.
- Frantzen, W. (1889): Untersuchungen über die Gliederung des Unteren Muschelkalkes im nordöstlichen Westfalen und im südwestlichen Hannover. - *Jb. Kgl. Preuss. Geol. Landesanst. u. Bergakad.*, **1888**: 453-497; Berlin.
- Frantzen, W. & Koenen, A. von (1889): Über die Gliederung des Wellenkalks im mittleren und nordwestlichen Deutschland. - *Jb. Kgl. Preuss. Geol. Landesanst. u. Bergakad.*, **1888**: 440-452; Berlin.
- Götz, A.E. (1994): Feinstratigraphie und Zyklengliederung im Unteren Muschelkalk (Raum Creuzburg - Westthüringen). - *Beitr. Geol. Thüringen, N.F.*, **1**: 3-12; Jena.
- Götz, A.E. (1996): Fazies und Sequenzanalyse der Oolithbänke (Unterer Muschelkalk, Trias) Mitteldeutschlands und angrenzender Gebiete. - *Geol. Jb. Hessen*, **124**: 67-86; Wiesbaden.
- Götz, A.E. & Feist-Burkhardt, S. (1999): Sequenzstratigraphische Interpretation der Kleinzyklen im Unteren Muschelkalk (Mitteltrias, Germanisches Becken). - *Zbl. Geol. Paläont. Teil I*, **1997 (7/9)**: 1205-1219; Stuttgart.
- Götz, A.E. & Feist-Burkhardt, S. (2000): Palynofacies and sequence analysis of the Lower Muschelkalk (Middle Triassic, German basin). - In: Bachmann, G. H. & Lerche, I. (Hrsg.): *Epicontinental Triassic*. - *Zbl. Geol. Paläont. Teil I*, **1998 (9/10)**: 877-891; Stuttgart.
- Gradstein, F.M., Agterberg, F.P., Ogg, J.G., Hardenbol, J., Van Veen, P., Thierry, J. & Huang, Z. (1995): A Triassic, Jurassic and Cretaceous time scale. - In: Berggren, W.A., Kent, D.V., Aubry, M.P. & Hardenbol, J. (Eds.): *Geochronology, time scales and global stratigraphic correlation*. - *SEPM Spec. Publ.*, **54**: 95-126; Tulsa.
- Hagdorn, H. (1991): The Muschelkalk in Germany - An Introduction. - In: Hagdorn, H. (Hrsg.): *Muschelkalk - A Field Guide*: 7-21; Korb (Goldschneck).
- Hagdorn, H., Hicketier, H., Horn, M. & Simon, T. (1987): Profile durch den hessischen, unterfränkischen und baden-württembergischen Muschelkalk. - *Geol. Jb. Hessen*, **115**: 131-160; Wiesbaden.
- Hardenbol, J., Thierry, J., Farley, M.B., Jacquin, T., Graciansky, P.-C. de & Vail, P.R. (1998): Mesozoic and Cenozoic sequence chronostratigraphic framework of European basins. - In: Graciansky, P.-C. de, Hardenbol, J., Jaquin, T. & Vail, P.R. (Eds.): *Mesozoic and Cenozoic sequence stratigraphy of European basins*. - *SEPM Spec. Publ.*, **60**: Chart 8; Tulsa.
- Harland, W.B., Armstrong, R.L., Cox, A.V., Craig, L.E., Smith, A.G. & Smith, D.G. (1990): *A geological time scale 1989*. - 263 S.; Cambridge (Cambridge Univ. Press).
- Hautmann, M. (1997): Geochemische Untersuchungen im Unteren Muschelkalk bei Jena/Thüringen. - *Z. geol. Wiss.*, **25 (5/6)**: 599-616; Berlin.
- Kedzierski, J. (2000): Sequenzstratigraphie des Muschelkalks im östlichen Teil des Germanischen Beckens. - *Diss. Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg*, 116 S.; Halle (elektron. Version ULB Sachsen-Anhalt).
- Knaust, D. (1998): Trace fossils and ichnofabrics on the Lower Muschelkalk carbonate ramp (Triassic) of Germany: tool for a high-resolution sequence stratigraphy. - *Geol. Rundsch.*, **87**: 21-31; Berlin.
- Kozur, H. (1974): Biostratigraphie der germanischen Mitteltrias. - *Freib. Forschh.*, **C 280**: 1-71; Leipzig.
- Langbein, R. & Stepansky, M. (1996): Beiträge zur Geochemie des Muschelkalks in Thüringen. - *Geowiss. Mitt. v. Thür.*, Beiheft 5: 111-129; Weimar.
- Loucks, R.G. & Sarg, J.F. (Eds.) (1993): *Carbonate sequence stratigraphy - Recent developments and applications*. - *AAPG Mem.*, **57**: 545 S.; Tulsa.
- Mädler, K. (1964): Die geologische Verbreitung von Sporen in der deutschen Trias. - *Beih. geol. Jb.*, **65**: 1-147; Hannover.
- Menning, M. (1995): A numerical time scale for the Permian and Triassic periods: an integrated time analysis. - In: Scholle, P.A., Peryt, T.M. & Ulmer-Scholle, D.S. (Eds.): *The Permian of Northern Pangea*, **1** - *Paleogeography, Paleoclimates, Stratigraphy*: 77-97; Berlin (Springer).
- Mitchum, R.M. & Van Wagoner, J.C. (1991): High-frequency sequences and their stacking patterns: sequence-stratigraphic evidence of high-frequency eustatic cycles. - *Sed. Geol.*, **70**: 131-160; Amsterdam.
- Montañez, I.P. & Osleger, D.A. (1993): Parasequence stacking patterns, third-order accommodation events, and sequence stratigraphy of Middle to Upper Cambrian platform carbonates, Bonanza King Formation, southern Great Basin. - In: Loucks, R.G. & Sarg, J.F. (Eds.): *Carbonate se-*

- quence stratigraphy - Recent developments and applications. - AAPG Mem., **57**: 305-326; Tulsa.
- Pasquier, J.-B. & Strasser, A. (1997): Platform-to-basin correlation by high-resolution sequence stratigraphy and cyclostratigraphy (Berriassian, Switzerland and France). - *Sedimentology*, **44**: 1071-1092; Oxford.
- Pedersen, P.K. (2001): Sequence stratigraphic analysis of Middle Triassic carbonate-evaporitic ramp deposits, southern Denmark. - *Sed. Geol.*; Amsterdam [eingereicht].
- Rameil, N., Götz, A.E. & Feist-Burkhardt, S. (2000): High-resolution sequence interpretation of epeiric shelf carbonates by means of palynofacies analysis: an example from the Germanic Triassic (Lower Muschelkalk, Anisian) of East Thuringia, Germany. - *Facies*, **43**: 123-144; Erlangen.
- Rüffer, T. (1999): Exkurs: Sedimentation und Faziesräume in der nordalpinen Trias. - In: Hauschke, N. & Wilde, V. (Hrsg.): *Trias, eine ganz andere Welt: Mitteleuropa im frühen Erdmittelalter*: 175-204; München (Pfeil).
- Rüffer, T. & Bechstäd, T. (1998): Triassic sequence stratigraphy in the western parts of the Northern Calcareous Alps (Austria). - In: Graciansky, P.-C. de, Hardenbol, J., Jacquin, T. & Vail, P.R. (Eds.): *Mesozoic and Cenozoic sequence stratigraphy of European basins*. - *SEPM Spec. Publ.*, **60**: 751-761; Tulsa.
- Rüffer, T. & Zühlke, R. (1995): Sequence stratigraphy and sea level changes in the Early to Middle Triassic of the Alps: a global comparison. - In: Haq, B.U. (Ed.): *Sequence stratigraphy and depositional response to eustatic, tectonic and climatic forcing*: 161-207; Amsterdam (Kluwer).
- Schüller, M. (1967): Petrographie und Feinstratigraphie des Unteren Muschelkalks in Südniedersachsen und Nordhessen. - *Sed. Geol.*, **1**: 353-401; Amsterdam.
- Schulz, M.-G. (1972): Feinstratigraphie und Zyklengliederung des Unteren Muschelkalks in N-Hessen. - *Mitt. Geol.-Paläont. Inst. Univ. Hamburg*, **41**: 133-170; Hamburg.
- Schwarz, H.-U. (1970): Zur Sedimentologie und Fazies des Unteren Muschelkalkes in Südwestdeutschland und angrenzenden Gebieten. - *Diss. Univ. Tübingen*, 297 S.; Tübingen.
- Schwarz, H.-U. (1977): Sedimentationszyklen und stratigraphisch fazielle Probleme der Randfazies des Unteren Muschelkalkes (Kernbohrung Mersch/Luxembourg). - *Geol. Rundschau*, **66**: 34-61; Stuttgart.
- Seidel, G. & Loeck, P. (1993): Zur Geochemie der Wellenkalk-Folge von Bad Kösen und Jena. - *Geowiss. Mitt. v. Thür.*, **1**: 49-58; Weimar.
- Strasser, A. (1991): Lagoonal-peritidal sequences in carbonate environments: autocyclic and allocyclic processes. - In: Einsele, G., Ricken, W. & Seilacher, A. (Eds.): *Cycles and events in stratigraphy*: 709-721; Berlin (Springer).
- Strasser, A., Pittet, B., Hillgärtner, H. & Pasquier, J.-B. (1999): Depositional sequences in shallow carbonate-dominated sedimentary systems: concepts for a high-resolution analysis. - *Sed. Geol.*, **128**: 201-221; Amsterdam.
- Szulc, J. (1993): Early alpine tectonics and lithofacies succession in the Silesian part of the Muschelkalk Basin. A Synopsis. - In: Hagdorn, H. & Seilacher, A. (Hrsg.): *Muschelkalk. Schöntaler Symposium 1991*. - *Sonderbände der Gesellschaft für Naturkunde in Württemberg* **2**: 19-28; Korb (Goldschneck).
- Szulc, J. (1999): Anisian-Carnian evolution of the Germanic basin and its eustatic, tectonic and climatic controls. - In: Bachmann, G.H. & Lerche, I. (Hrsg.): *Epicontinental Triassic*. - *Zbl. Geol. Paläont. Teil I*, **1998** (7/8): 813-852; Stuttgart.
- Szulc, J. (2000): Middle Triassic evolution of the northern Peri-Tethys area as influenced by early opening of the Tethys ocean. - *Ann. Soc. Geol. Polon.*, **70**: 1-48; Warschau.
- Vail, P.R., Audemard, F., Bowman, S.A., Eisner, P.N. & Perez-Cruz, C. (1991): The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology - an overview. - In: Einsele, G., Ricken, W. & Seilacher, A. (Eds.): *Cycles and events in stratigraphy*: 617-659; Berlin (Springer).
- Van Wagoner, J.C., Mitchum, R.M., Campion, K.M. & Rahmanian, V.D. (1990): Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops. - *AAPG Methods Explor.*, **7**: 1-55; Tulsa.
- Wignall, P.B. (1991): Test of the concepts of sequence stratigraphy in the Kimmeridgian (Late Jurassic) of England and northern France. - *Mar. Petrol. Geol.*, **8**: 430-441; Amsterdam.
- Wilson, J.L. (1975): Carbonate facies in geologic history. - 471 S.; Berlin (Springer).
- Ziegler, P.A. (1990): *Geological Atlas of Western and Central Europe*. - 239 S.; Den Haag (Shell Internationale Petroleum Maatschappij B.V.).