

Kurzfristige Krisen in der Erdgeschichte während der letzten 100 Millionen Jahre

Was Flachmeerablagerungen berichten

von Jochen Kuss, Christian Scheibner, Stefan Höntzsch und Jens Wendler, Bremen

Abb. 1: Kreideablagerungen im Wadi Mujib, Zentraljordanien

Flachmeere, wie die Nordsee oder die Beringsee, sind küstennahe, bis zu etwa 1.000 Meter tiefe Meere, die – im Gegensatz zur Tiefsee – noch auf dem Kontinentalsockel liegen. Insbesondere in tropischen Breiten führt in Flachmeeren eine hohe biologische Produktion zur Bildung von typischen Karbonatsedimenten. Für die Geologie sind diese Ablagerungen von großem Wert, da in ihnen Informationen über die Paläoumwelt gespeichert sind, die mit geochemischen Verfahren ausgelesen werden können. In vielen erdgeschichtlichen Phasen waren Flachmeere sehr viel häufiger als heute, vor allem vor der Vereisung der Polarregionen aufgrund des damals sehr viel höheren Meeresspiegels. So entstanden vielerorts mächtige Karbonatplattformen, die heute in Gebirgsgängen zugänglich sind (s. z.B. Abb. 1). In diesen mehrere hundert Meter dicken kalkreichen Schichtpaketen sind sowohl langfristige geologische Prozesse dokumentiert als auch Aufzeichnungen von aus geologischer Sicht kurzfristigen Krisen (mit einer Dauer von bis zu 500.000 Jahren), die oft weitreichende Folgen für die Lebewelt hatten.

Die Forschung nach den Ursachen solcher kurzfristiger erdgeschichtlicher Krisen weist für die jüngere geologische Vergangenheit auf unterschiedliche Einflussgrößen und Verstärkungseffekte hin. So können z.B. die jüngeren känozoischen Vereisungen durch periodische Änderungen der Erdbahnparameter erklärt werden. Kurzfristige Krisen der älteren geologischen Vergangenheit können z.B. an Massenaussterbeereignissen oder an typischen Meeresbodensedimenten, wie z.B. Schwarzschiefern, erkannt

werden. Von besonderem Interesse sind globale Krisen, die weltweit Spuren in Sedimentgesteinen hinterlassen haben. Die ursprünglichen Umweltbedingungen die zur Ablagerung dieser »Krisen-Sedimente« oder den biologischen Katastrophen geführt haben, sind jedoch oft durch die komplexe Überlagerung verschiedener Einflussgrößen verschleiert. Daher können die Auswirkungen auf die flachmarine Biosphäre nur mit Hilfe hochauflösender Datensätze quantitativ abgeschätzt und mit heutigen Szenarien verglichen werden. Den biologisch-chemischen Veränderungen während der Krisen im Vergleich zu den »Normalbedingungen« kommt dabei besondere Bedeutung zu. Diese Veränderungen ermöglichen es, bedeutsame Stressfaktoren herauszufiltern, die beispielsweise zur Reorganisation der Lebensgemeinschaften (Biozönosen) geführt haben. Im Zentrum der hier vorgestellten Beispiele aus den letzten 100 Millionen Jahren (s. Abb. 2) stehen

- 1) Modifikationen von Plattform-Lebensgemeinschaften vor und nach der globalen Abkühlung an der Grenze Eozän/Oligozän (EOT: Eocene Oligocene Transition),
- 2) Veränderungen der flachmarinen Biosphäre während und nach dem globalen Temperaturmaximum an der Wende Paläozän/Eozän (PETM: Paleocene Eocene Thermal Maximum) und
- 3) zyklische sedimentologische und geochemische Variationen auf einer kreidezeitlichen Karbonatplattform während des ozeanischen anoxischen Ereignisses 2 (OAE 2: Oceanic Anoxic Event 2).

1 Die globale Abkühlung an der Wende Eozän/Oligozän auf Karbonatplattformen

Im späten Eozän ist für die höheren Breiten eine schrittweise graduelle Abkühlung nachgewiesen, die das Ende der paläogenen Treibhaus-Zeit einleitet und mit der raschen extremen Abkühlung während des Übergangs vom Eozän zum Oligozän (Eocene Oligocene Transition: EOT) ihr Ende findet (s. Abb. 2). Der Temperatursturz zu Beginn des Oligozäns begünstigte jedoch in einigen tropischen Bereichen des Tethysmeeres die Verbreitung größerer Korallenriffe, die zusammen mit neu entwickelten Großforaminiferen vorkommen, während andere Karbonatplattformen scheinbar wenig bis kaum beeinflusst wurden. Für die EOT ist der globale Wechsel von Treibhaus- zu Eiszeit-Bedingungen z.B. durch einen weltweit markanten Abfall der Sauerstoffisotopengehalte in den mittleren und höheren Breiten der Ozeane dokumentiert und wird mit der beginnenden Vereisung der Antarktis in Bezug gebracht. Während eines Zeitraums von etwa 300.000 Jahren betrug die Abkühlung des Meerwassers in höheren Breiten bis zu 15°C, während für die tropischen Bereiche bisher wenig belastbare Vergleichsdaten vorliegen. Diese uneinheitliche Datenlage bezüglich der Auswirkungen der EOT auf tropische Karbonatplattformen soll mit Hilfe von Vergleichen von Lebensgemeinschaften, basierend auf elf Datensätzen entlang eines Nord-Süd-Transsekts im heutigen Mittelmeerraum (43°N bis 20°N, Abb. 3) genauer beleuchtet werden.

Tropische Plattformbiozöosen während der EOT

Im oberen Eozän (Priabon: Plattformstadium V – Abb. 2, 3) werden die meisten Karbonatplattformen von hermatypischen Korallen und Großforaminiferen mit wechselnden Häufigkeiten dominiert, die in fünf Gebieten (1, 4, 5, 8, 10) praktisch unverändert auch im unteren Oligozän (Stadium VI) angetroffen werden. Dies lässt darauf schließen, dass die kurzfristige globale Abkühlung in den tropischen Bereichen nur zu unmerklichen Veränderungen führte. Dieses Ergebnis liefern sowohl Untersuchungen in tektonisch aktiven Bereichen (1, 4, 5) als auch in tektonisch »ruhigen« Randbereichen (8, 10). In anderen

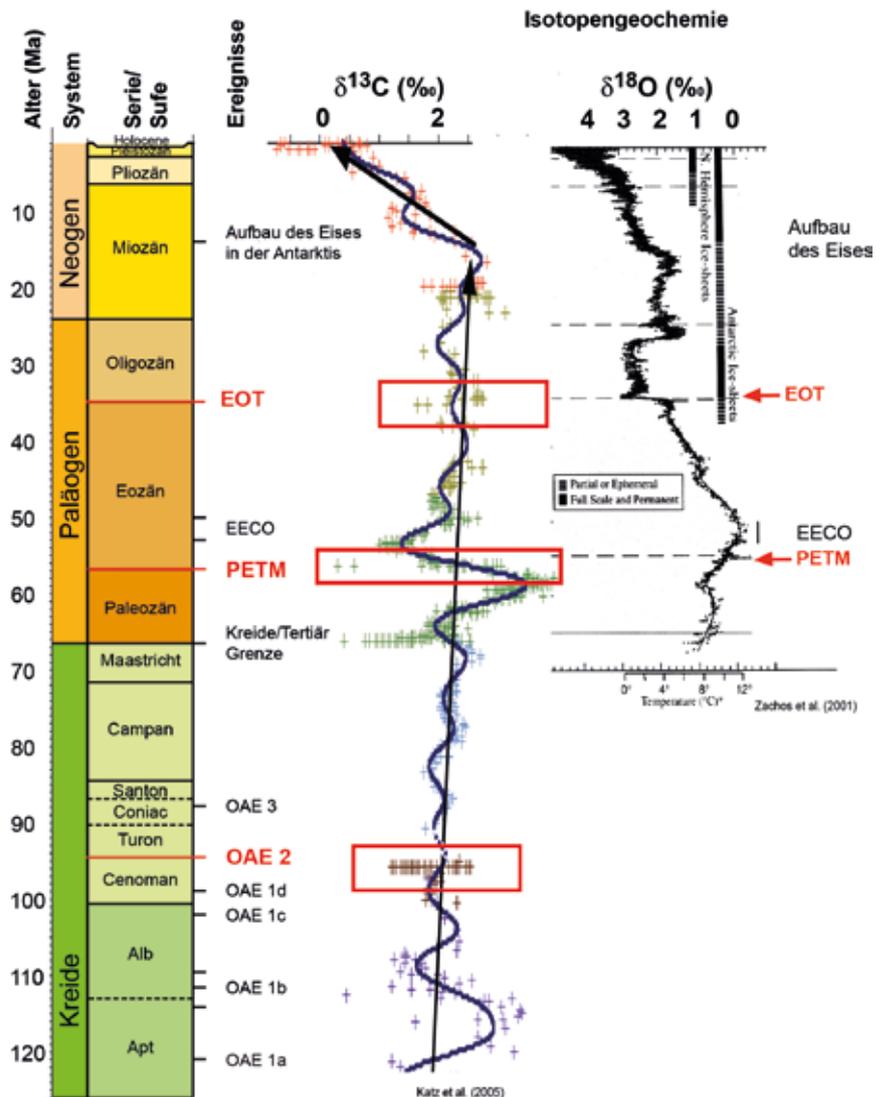


Abb. 2: Zeitskala der letzten 125 Millionen Jahre mit den wichtigsten globalen Ereignissen (links), der Kohlenstoff- und Sauerstoffisotopenkurve (rechts) für das Paläogen und Neogen mit den genauer untersuchten Intervallen des OAE2, des PETM und der EOT. Die Sauerstoffisotopenkurve spiegelt die Temperaturverteilung der letzten 65 Millionen Jahre wider.

tektonisch aktiven Regionen, z.B. den Pyrenäen (2), fällt das Absterben der Plattformen an der Eozän/Oligozän-Grenze mit der verstärkten Zufuhr von sandigem Abtragungsmaterial zusammen, was auf tektonische Ereignisse zurückgeführt wird.

Einschränkungen in der Plattformverbreitung und Diversität der Plattformorganismen sind mit Beginn des Oligozäns von Griechenland (6) überliefert, wogegen für die Plattformbiozöosen in der Türkei (7) unterschiedliche Angaben zu Veränderungen der Korallen- und Großforaminiferenfaunen während der EOT beschrieben sind. In Tunesien (9) folgen auf Korallen-Großforaminiferen Lebensgemeinschaften des Obereozän Großforaminiferen-dominierte Plattformen ohne Korallen, was auf Änderungen der Nährstoffzufuhr nach der EOT zurückgeführt

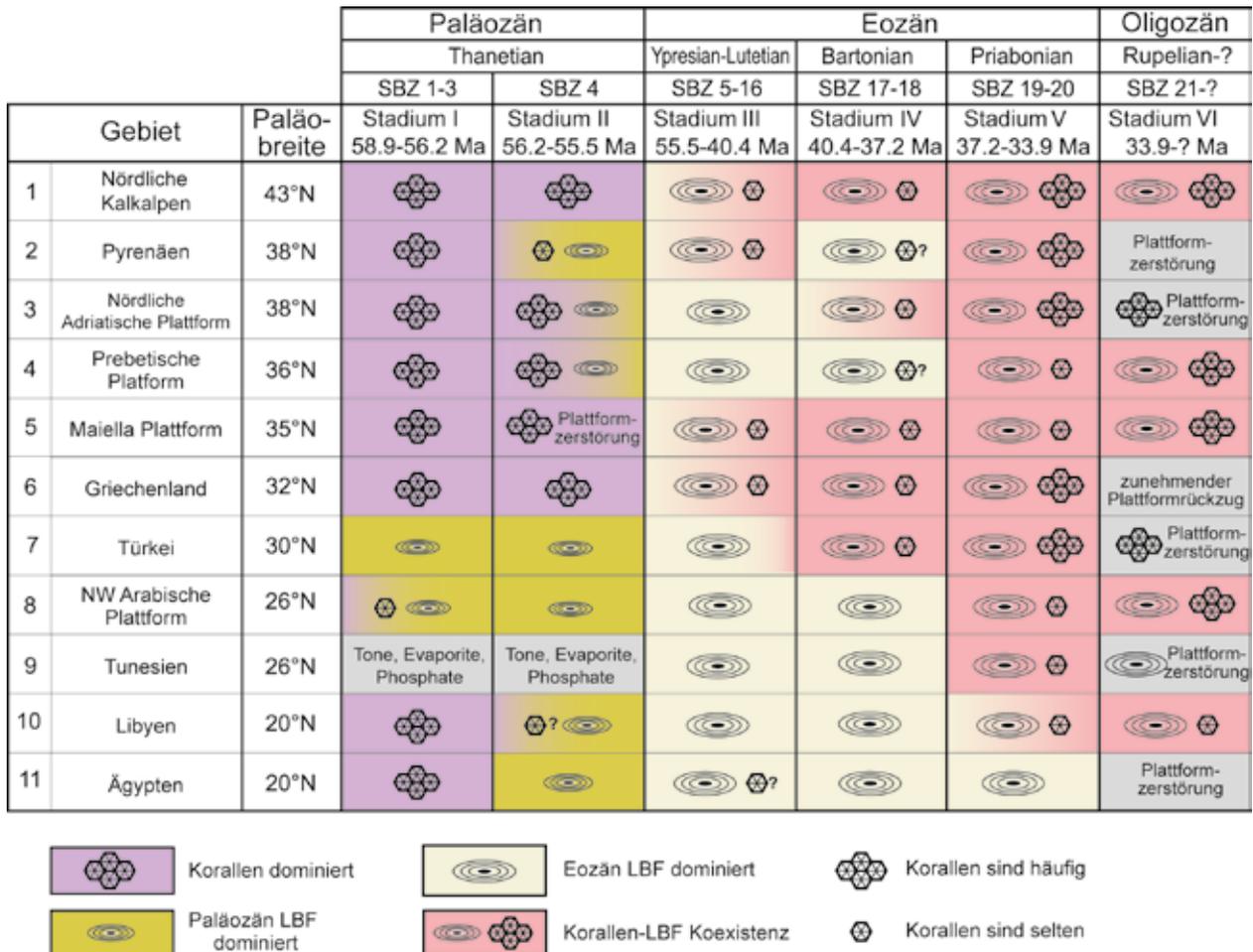


Abb. 3: Tropische Karbonatplattformen der Tethys von Nord nach Süd (1 – 11) während kurzfristiger globaler Krisen: a) PETM (zwischen Stadium II und III) und b) E/O-Übergang (zwischen Stadium V und VI). Die relativen Häufigkeiten der Großforaminiferen (LBF: Large Benthic Foraminifera) und Korallen spiegeln die Plattformkrisen wider. Die SBZ (Shallow Benthic Zonation) repräsentiert die Zeiteinteilung auf den Plattformen (aus Höntzsch et al., 2013).

wird. Gänzlich umgekehrte Verhältnisse mit einer Zunahme der Korallenhäufigkeit nach der EOT sind für die nördliche Adriatische Plattform (3) zu verzeichnen.

Geringe Auswirkungen globaler Abkühlung auf Flachwasserorganismen in den niederen Breiten

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass es während der globalen Abkühlung an der EOT nur wenig spezifische Faunenveränderungen in den Flachmeeren der Tethys gab, die nur untergeordnet (wenn überhaupt) mit den drastischen klimatischen Veränderungen der hohen Breiten in Verbindung gebracht werden können. Im Gegensatz zu den ozeanischen Bereichen der mittleren und höheren Breiten sind die tropischen Karbonatplattformen in den niederen Breiten in dieser Zeit von unterschiedlichen faunistischen Änderungen betroffen, die offensichtlich durch die Überlagerung verschiedener Einflussgrößen entstanden sind. Die für einige Plattformen diskutierten Änderungen der Nährstoffzufuhr während der EOT sind

in ihren Auswirkungen auf die Korallen-Großforaminiferen-Biozönosen nicht einheitlich zu belegen.

2 Das Paläozän/Eozän Wärmemaximum (PETM) auf Karbonatplattformen

Das frühe Paläozän (65 bis 50 Millionen Jahre vor heute) ist innerhalb des Känozoikums (65 Millionen Jahre bis heute) die Zeitperiode mit der größten langfristigen Erwärmung (Abb. 2), die zusätzlich durch eine kurzfristige Erwärmung (mit einer Dauer von etwa 170.000 Jahren) an der Paläozän/Eozän-Grenze (vor 55,8 Millionen Jahren), dem sogenannten PETM überlagert wird. Das PETM stellt eines der spektakulärsten Beispiele für einen rapiden Klimaumschwung in der Erdgeschichte dar. Parallel zur kurzfristigen Temperaturerhöhung von 4°C bis 5°C in den Tropen bzw. von 8°C bis 10°C in den hohen Breiten wird eine große negative Kohlenstoffisotopenanomalie verzeichnet, die auf eine dramatische Störung im Kohlenstoffkreislauf hinweist. Sie wurde wahrscheinlich

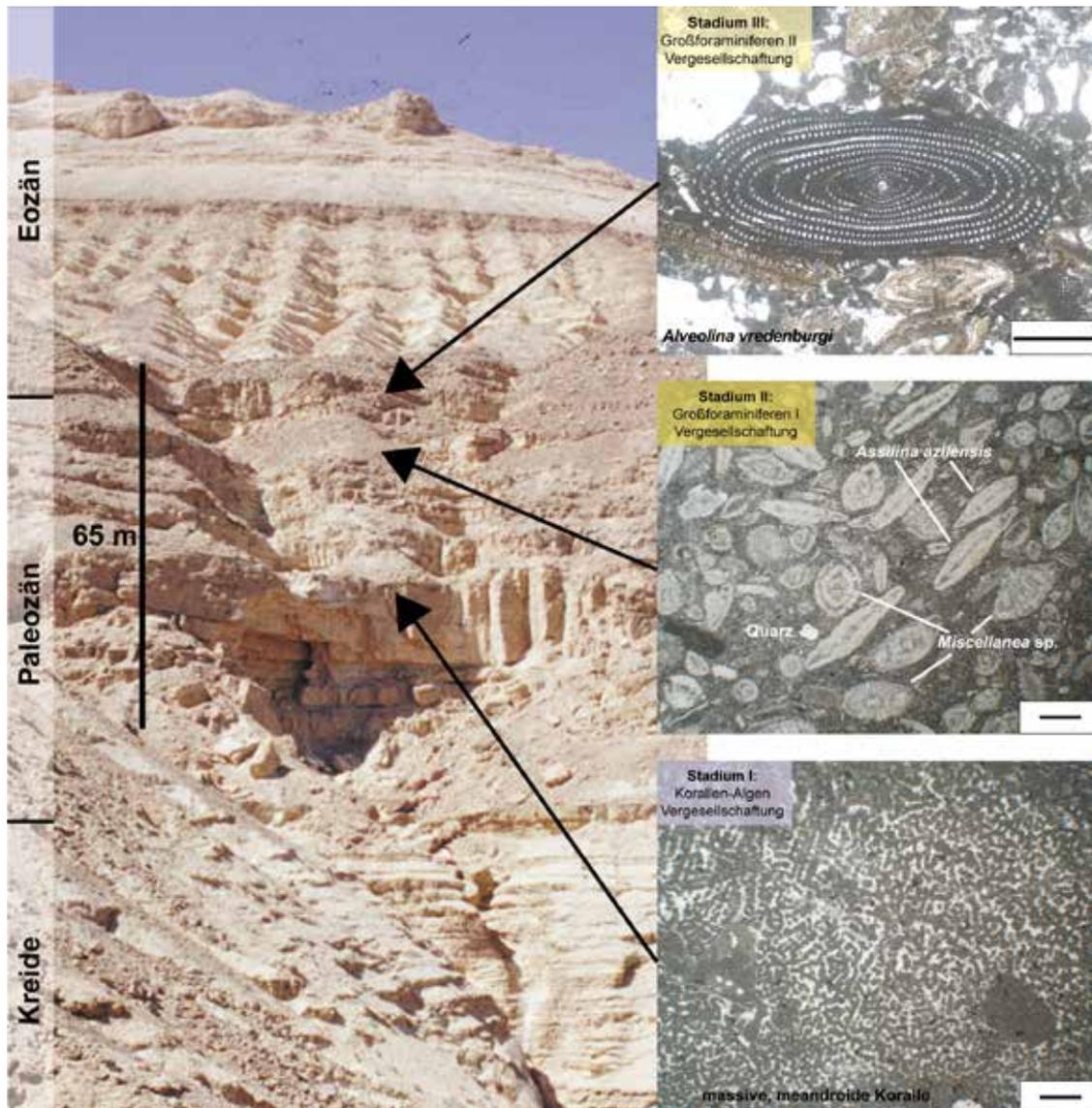


Abb. 4.: Geländefoto der Plattformkalke des PETM-Bereichs im Bir Dakhl (Südgala/Ägypten) mit den drei Plattformstadien I, II, III und charakteristischen Organismen-Assoziationen im Dünnschliff (Maßstab: 1mm).

durch Dissoziation von Methanhydraten aus dem Ozeanboden im Zusammenhang mit der Aufwärmung des Tiefenwassers hervorgerufen und ist sowohl in terrestrischen als auch in marinen Systemen nachweisbar.

Plattformsedimente des PETM

Nachdem die stratigraphische Korrelation zwischen Flachmeersedimenten und denen des offenen Ozeans während des PETM erst jüngst zufriedenstellend geklärt wurde, konnten die Auswirkungen des Wärmeereignisses auf die Organismen flacher Karbonatplattformen analysiert werden. Aufgrund der hervorragenden Aufschlussverhältnisse (Abb. 4) entlang eines Plattform-Becken-Transsekts ist in Ägypten der genaue Verlauf der Ereignisse vor, während und nach dem PETM auf der Plattform

überliefert. Unter Einbeziehung weiterer Studien von Indien bis Marokko und von den Alpen bis nach Somalia konnten während dreier Plattformstadien (I – III) folgende Organismenvergesellschaftungen identifiziert werden (Abb. 3):

- I Korallen-Algen Riffe dominieren breitengradunabhängig alle Flachwasserplattformen,
- II Erkennbar sind breitengradabhängige Trends mit Korallen-Algen-Riffen in mittleren Breiten und einer ersten Phase mit Großforaminiferenbänken (*Miscellaneen*, *Assilinen* und *Ranikothalien*) in den Tropen.
- III Korallen-Algen-Riffe sind in allen Meeresregionen abwesend. Eine zweite Phase mit Großforaminiferenbänken ist durch *Alveolinen* und *Nummuliten* charakterisiert.

Zwischen den Plattformstadien II und III liegt das PETM.

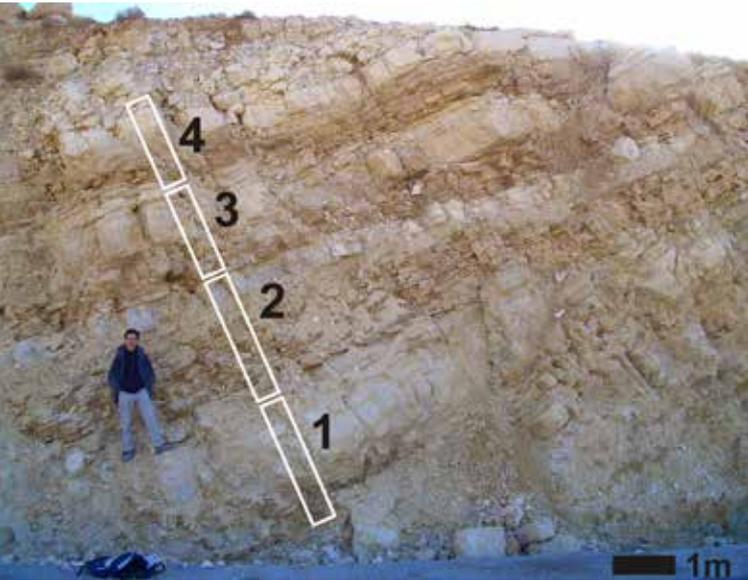


Abb. 5: Vier Kalk-Mergel-Zyklen 5. Ordnung (100.000 Jahre) aus dem Wadi Mujib (Zentraljordanien) entsprechend den in Abbildung 6 grün gekennzeichneten Zyklen 1 bis 4.

Ursachen für die PETM Plattformkrise

Als Ursache für diesen Wechsel in der Organismenzusammensetzung im Flachwasser während des PETM ist das Zusammenspiel langfristiger und kurzfristiger Klima- und Umweltveränderungen anzunehmen. Vergleiche mit heutigen Riffen belegen, dass insbesondere die obere Temperatur-Toleranzgrenze von Korallen durch Ausbleichen und folgendes Absterben dokumentiert wird (sogenannte El-Niño-Ereignisse). Auf die rapide Temperaturerhöhung während des PETM übertragen bedeutet dies, dass sich die guten Wachstumsbedingungen für Korallen im Stadium I zum Stadium II hin verschlechterten. Die mit Beginn des Stadiums III vermehrt auftretenden Großforaminiferenbänke und das gleichzeitige Fehlen der Korallenriffe belegen einen kurzfristigen Temperaturanstieg, der auch durch erhöhte CO_2 -Einträge in die Atmosphäre und das Meer gekennzeichnet war. Der evolutive Wechsel innerhalb der Großforaminiferen, mit vorherrschenden Alveolinen und Nummuliten in Stadium III steht somit in kausalem Zusammenhang mit der raschen Erwärmung während des PETM.

3 Plattformkrisen während der Kreide

Während der Kreidezeit lag der Meeresspiegel weltweit deutlich höher als heute. Dies hatte weit ausgedehnte Flachmeere zur Folge, deren Meeresböden heute am Nordrand Afrikas und der arabischen Halbinsel als ausgedehnte Karbonatplattformen die Landschaft prägen (z.B. die Levant Plattform zwischen Ägypten und Syrien). Während verschiedener Zeitabschnitte der Kreide sind Krisen in der Plattformentwicklung überliefert, sichtbar

in mergelig-tonigen Sedimenten bzw. in veränderten biotischen Zusammensetzungen. Im Fokus der Forschung nach den Ursachen derartiger globaler Krisen stehen die ozeanisch anoxischen Ereignisse (OAE), die Zeiten mit hohen Anreicherungen organischen Materials und niedrigen Sauerstoffgehalten des Tiefenwassers widerspiegeln und die oft als Schwarzschiefersedimente dokumentiert sind. Insbesondere in der Unterkreide wird das »Ertrinken« von Karbonatplattformen (als Folge des Aussterbens karbonatproduzierender Organismen) mit den Auswirkungen von OAEs in Verbindung gebracht, wobei klimatische Veränderungen (in Folge stark erhöhter CO_2 -Gehalte) als wichtigste Einflussgröße diskutiert werden.

Die Levant Plattform Zentraljordaniens im Cenoman-Turon (OAE 2)

Im Cenoman/Turon-Grenzbereich sind die Auswirkungen eines raschen Meeresspiegelanstiegs und das temporäre »Ertrinken« der Levant Plattform während des OAE 2 besonders deutlich an Hand tonig-mergeliger Sedimente Zentraljordaniens zu erkennen (Abb. 5). Zudem belegen erhöhte Gehalte an organischem Kohlenstoff (Schwarzschiefer) eine typische Krisensedimentation. Die OAE 2-Karbonate der Levant Plattform sind durch eine charakteristische Kohlenstoffisotopenkurve sowie zyklische Schwankungen des Karbonatgehalts gekennzeichnet (Abb. 6). Das Einsetzen des OAE 2 ist durch einen sehr markanten Negativausschlag der Kohlenstoffisotopenkurve (94,4 Millionen Jahre) gekennzeichnet, welcher mit einem Impuls verstärkten globalen Vulkanismus in Verbindung gebracht werden kann.

Isotopendaten

Das OAE 2 umfasst im Bereich der Levant Plattform Zentraljordaniens etwa 25 Meter mächtige Sedimente mit einer breiten positiven Auslenkung der Kohlenstoffisotopenkurve (Abb. 6). Die insgesamt etwa 1,2 Millionen Jahre umfassende Phase ist einerseits durch erhöhte Anteile an organischer Substanz infolge anoxischer Bedingungen gekennzeichnet. Zum anderen sind diese Ablagerungen in mehrere Stadien zu untergliedern, die sehr gut mit dem globalen ozeanischen Signal für diesen Zeitabschnitt vergleichbar sind. Somit liefern korrelierbare Maxima sehr genaue Zeitmarken für die Plattformsedimente Jordaniens und ermöglichen zyклоstratigraphische Analysen im Bereich der Cenoman/Turon-Grenze (93,9 Millionen Jahre vor heute).

Zyklische Abfolgen

Astronomisch gesteuerte Zyklen sind deutlich im Karbonatgehalt der Sedimente erkennbar, zeigen sich aber auch beim Gesamtkohlenstoffgehalt (TOC) und werden auf wechselnde Produktion sowohl von Karbonat als auch von organischer Substanz zurückgeführt. Diese Zyklen

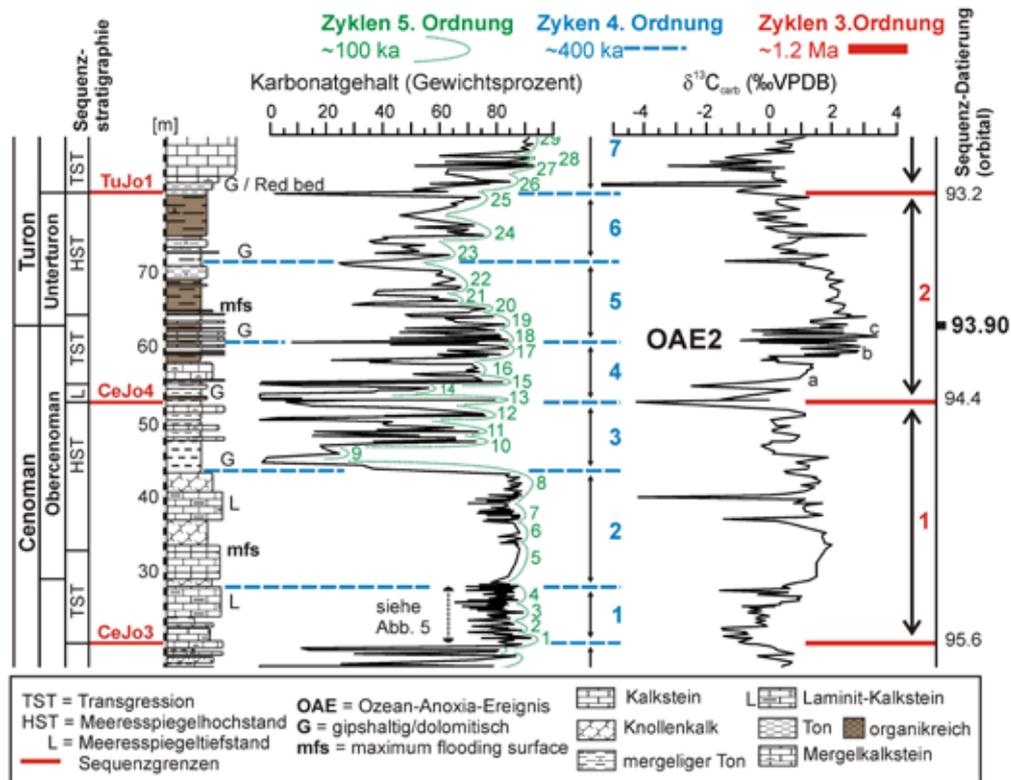


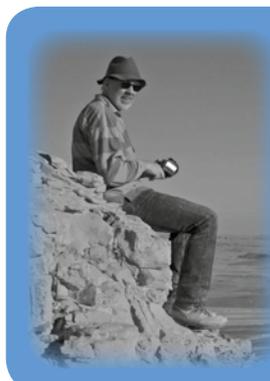
Abb. 6: Schwankungen des Karbonatgehaltes und $\delta^{13}\text{C}$ für das OAE 2-Intervall im Wadi Karak mit der kalibrierten Zeitskala des Cenoman-Turon-Grenzbereichs, der innerhalb eines 1,2 Millionen Jahre umfassenden Obliquitätszyklus liegt (rechts). Überlagernd sind kurze (100.000 Jahre - grün) und lange (400.000 Jahre - blau) Exzentrizitätszyklen zu definieren. Für die Sequenzgrenzen CeJo3 – TuJo1 gilt: Ce= Cenoman; Tu=Turon; Jo=Jordanien (aus Wendler et al., 2014).

bilden als sedimentäre Sequenzen Meeresspiegelschwankungen ab, die infolge von Klimavariabilität durch die Erdbahnparameter Exzentrizität und Obliquität (Achsenneigung) entstanden sind. Für den Zeitraum um das OAE 2 kann somit eine orbital gesteuerte Zyklenhierarchie als Grundlage für ein astrochronologisches Altersmodell konstruiert werden (Abb. 6). Das OAE 2 umfasst einen 600.000 Jahre langen Zeitabschnitt innerhalb eines 1,2 Millionen Jahre dauernden Obliquitätszyklus, der in drei 400.000 Jahre-Exzentrizitätszyklen (4 – 6) bzw. zwölf 100.000-Jahre Exzentrizitätszyklen (14 – 25) unterteilt werden kann. Sehr gut wird für das OAE 2 der Zusammenhang zwischen global gesteuerten Meeresspiegelschwankungen (Obliquität), globalen Kohlenstoffschwankungen und Exzentrizitätszyklen dokumentiert.

Die Untersuchungen ozeanischer Krisen in karbonatischen Flachmeerbereichen zeigen, dass mit heutigen Verhältnissen vergleichbare plötzliche Klimaveränderungen in der geologischen Vergangenheit einschneidende Auswirkungen auf die Lebewelt und die Sedimente in flachen tropischen Gewässern hatten.

Weiterführende Literatur

- Höntzsch, S., C. Scheibner, J. Brock & J. Kuss (2013): Circum-Tethyan carbonate platform evolution during the Palaeogene: the Prebetic platform as a test for climatically controlled facies shifts. *Turkish Journ. of earth Sc.* 22, 891-918
- Katz, M.E. et al. (2005): Biological overprint of the geological carbon cycle. *Marine Geology* 217, 323-338
- Wendler, J. E., Meyers, S.R, Wendler, I. & Kuss, J. (2014): A million-year-scale astronomical control on Late Cretaceous sea-level. *Newsl. on Stratigraphy* 47/1, 1-19
- Liu, Z. et al. (2009): Global Cooling During the Eocene-Oligocene Climate Transition. *Science* 27, 1187-1190
- Zachos, J. et al. (2001): Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. *Science* 292, 686-693



Jochen Kuss ist Professor an der Universität Bremen mit dem Schwerpunkt Geochronologie/Beckenanalyse und führt seit über zwanzig Jahren geologische Feldarbeiten in Nordafrika und der arabischen Halbinsel durch, um die Entstehungsgeschichte von Sedimentbecken und die Prozesse ihre Füllung besser zu verstehen. Er schrieb den Artikel zusammen mit seinen Kollegen Christian Scheibner, Stefan Höntzsch und Jens Wendler.

Anschrift: Prof. Dr. Jochen Kuss
 Fachbereich Geowissenschaften
 Universität Bremen
 Klagenfurter Straße, 28359 Bremen

E-Mail: kuss@uni-bremen.de