

Anmerkung

- ¹ Die 14 Darwinfinkenarten auf den Galapagosinseln stammen nach molekularen Stammbäumen, basierend auf dem Cytochrom b sowie aus der „control region“ der Mitochondrien auch von einer einzigen Ausgangsart ab (SATO et al. 1999).

Literatur

- ABZHANOV A, PROTAS M, GRANT BR, GRANT PR & TABIN CJ (2004) Bmp4 and morphological variations of beaks in Darwin's finches. *Science* 305, 1462-1465.
JUNKER R (2006) Schnabelvariation bei Darwinfinken: Nur

- ein Schalter. *Stud. Int. J.* 13, 50-51.
LINDEMANN W (2001) Schnelle Artbildung ohne geographische Trennung bei Fruchtfliegen und Lachsen. *Stud. Int. J.* 8, 31-32.
LINDEMANN W (2002) Rasche Mikroevolution bei Finken. *Stud. Int. J.* 9, 53.
RYAN PG, BLOOMER P, MOLONEY CL, GRANT TJ & DELPORT W (2007) Ecological speciation in South Atlantic island finches. *Science* 315, 1420-1422 (9. März 2007) mit online-support www.sciencemag.org/cgi/content/full/315/5817/1420
SATO A, O'HUIGIN C, FIGUERA F, GRANT PR, GRANT BR, TICHY H & KLEIN J (1999) Phylogeny of Darwin's finches as revealed by mtDNA sequences. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96, 5101-5106.
WU P, JIANG TX, SUKSAWEANG S, WIDELITZ RB & CHUONG CM (2004) Molecular shaping of the beak. *Science* 305, 1465-1468.

Großer Meersaurierfriedhof – Zeugnis für Massensterben

Vergiftung als Ursache der ausgedehnten Umweltkatastrophe?

Zusammenfassung: Im Verlauf einer mehrjährigen Grabungskampagne stellte sich heraus, dass die als Meersaurierfriedhof bezeichnete starke Anreicherung vor allem von Fischesaurierskeletten und -knochen in einer Schicht im Oberen Unterjura bei Eislingen an der Fils (Württemberg) eine Fläche von mindestens 20 Quadratkilometern umfasst. Die Entstehung dieser Fossilagerstätte im Oberen Unterjura wird auf eine große Umweltkatastrophe zurückgeführt: Der Zerfall von Methanhydraten in tiefmeerischen Sedimenten des einstigen südostfranzösischen Dauphiné-Beckens habe bis ins süddeutsche Flachmeer zu einer großräumigen Vergiftung der Lebewelt geführt. Diese Ursache ist jedoch zweifelhaft. Denn Methanhydrate sind nur bei niedrigen Temperaturen und/oder hohen Drücken stabil. Gegen den dafür notwendigen Kaltwasserzufluss ins Dauphiné-Becken sprechen aber sowohl Daten, die auf eisfreie Pole zur Zeit des Unteren Jura hindeuten, als auch der weitgehende Flachmeercharakter im damaligen europäischen Raum, der (kalte) Tiefenströmungen verhinderte. Die Befunde, die auf eine rasche Entstehung der Fossilagerstätte hinweisen, bleiben von der Methanhydrat-Hypothese jedoch unberührt.

Mindestens 20 Quadratkilometer große knochenreiche Schicht – nach und nach entdeckt. Beim Bau der neuen B10-Trasse wurden im Jahr 2002 im Oberen Unterjura bei Eislingen reichlich Knochen von Fischesauriern (Ichthyosaurier), aber auch von anderen Meersauriern entdeckt (HAVLIK et al. 2003, 203-204). Die anschließende Grabungskampagne führten Forscher der Kreisarchäologie Göppingen und des Instituts für Geowissenschaften der Universität Tübingen durch. Sie erbrachte

eine große Menge an Wirbeltierfunden, insbesondere viele Fischesaurierknochen (Überblick über die gefundenen Lebewesengruppen bei RADEMACHER 2006, 53-82). Nach dem gegenwärtigen Stand der Forschung wird angenommen, dass der Meersaurierfriedhof durch eine Umweltkatastrophe im Jura-Meer entstanden ist (vgl. BINDER & STEPHAN 2005, 81-82); das wird im letzten Abschnitt diskutiert.

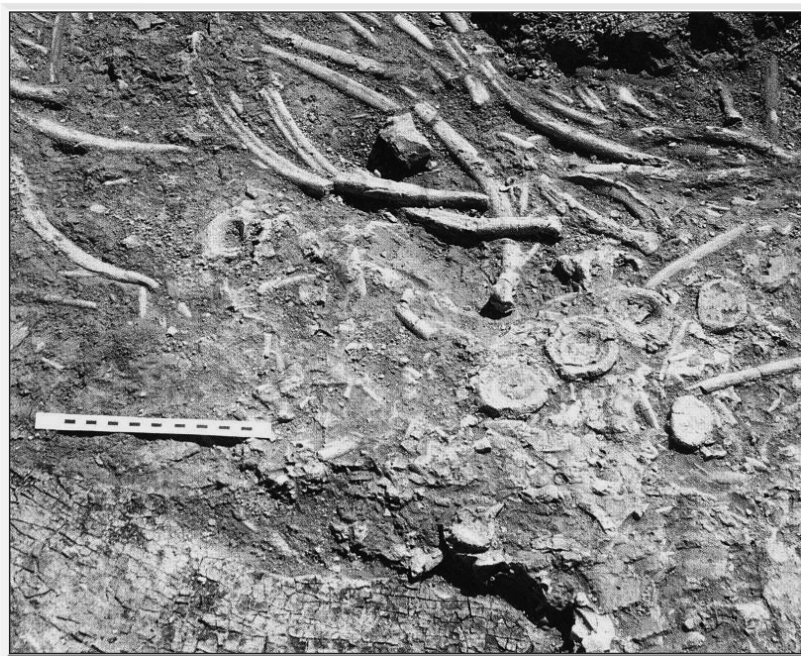
Sehr bedeutsam ist, dass die Schicht mit dem Meersaurierfriedhof nicht nur an mehreren Fundstellen an der B 10-Trasse (Fundstellen Eislingen I-VI), sondern – wie im Verlauf der mehrjährigen Grabungen entdeckt wurde – auch etwa 6 km weiter nordnordwestlich (Fundstellen Bartenbach II/IV) und sogar noch ca. 2 km weiter nordwestlich bei Birenbach vorkommt (Fundstellen Bartenbach I/III; Abb. 2). Deshalb nimmt man inzwischen an, dass der Meersaurierfriedhof über „eine Fläche von mindestens 20 km²“ ausgedehnt ist! (HAVLIK et al. 2006, 11-12; RADEMACHER 2006, 39-48). Die Grabungen, die vorläufig abgeschlossen sind, haben über 2000 Knochen zutage gefördert (RADEMACHER 2006, 84; HAVLIK et al. 2006, 13). Dieser Beitrag konzentriert sich im Wesentlichen auf die Befunde, die zum Verständnis der Entstehung des Fischesaurierfriedhofs notwendig sind.

Saurier-Friedhof liegt im „Belemniten-Schlachtfeld“. Die Schicht, in der die Wirbeltierreste eingebettet sind, ist nur bis zu 10 cm mächtig (RADEMACHER 2006, 39). Das Besondere ist, dass in ihr unzählige Belemniten angereichert sind (das sind fingerförmige, meist spitz zulaufende Innenskelett-Elemente ausgestorbener Tintenfische; vgl. Abb. 1),

und zwar können es über 1000 Exemplare pro Quadratmeter sein. Der stets um Anschaulichkeit bemühte Begründer der schwäbischen Jura-Geologie, F.A. QUENSTEDT (1809-1889), nannte solche Vorkommen drastisch „Belemniten-Schlachtfelder“. Erstaunlich ist, dass zwar die Belemniten-Schicht bei Eislungen seit langem bekannt ist, aber die reichlichen Meersaurierknochen bisher anscheinend übersehen wurden. Auch mit fossilen Kotstücken (Koprolithen) ist die Fundschicht „geradezu übersät“ (RADEMACHER 2006, 24, 82). Die Belemniten zeigen überwiegend deutliche Spuren der Abrollung und dürften anderenorts bei Abtragung der Schichten des Untergrunds aufgearbeitet, das heißt durch heftige Meeresströmungen freigespült und dann umgelagert worden sein (RADEMACHER 2006, 62). Die ausgedehnten Geländearbeiten brachten entgegen früheren Angaben (vgl. BINDER & STEPHAN 2005) keine eindeutigen Hinweise auf eine bestimmte Strömungsrichtung im Unterjura-Meer, da sich bei den Belemniten keine einheitliche Vorzugsrichtung (Einregelung) nachweisen lässt (RADEMACHER 2006, 62-63). Die Wasserbewegungen waren aber zumindest zeitweise intensiv, denn auch die Meersaurier-Skelettelemente wurden teilweise „durch die Strömungsereignisse stark durcheinander gewirbelt“ (RADEMACHER 2006, 42).

Einstufung des Friedhofs in der Schichtfolge. Reste von Ammoniten – ausgestorbene Tintenfische mit spiralig gewundenem Gehäuse – finden sich in der Meersaurier-Fundschicht nur als wieder aufgearbeitete phosphatische Exemplare und Fragmente; es sind nur Arten, die an sich im Schichtpaket darunter vorkommen (Näheres bei BINDER & STEPHAN 2005, 82). Sie wurden also ebenfalls umgelagert und stammen aus der unterlagernden Posidonienschiefer-Formation. Diese Formation wurde benannt nach einer in diesem Schichtpaket häufigen Muschel, die früher *Posidonia* hieß. Die Ammoniten stammen aus der höchsten Ammoniten-Zone des Posidonienschiefers, der *bifrons*-Zone (nach dem Leitammonit *Hildoceras bifrons*; HAVLIK et al. 2003, 207; vgl. RIEGRAF et al. 1984, 21-22). Der Posidonienschiefer, vor allem in der Umgebung von Holzmaden bei Kirchheim/Teck (an der Autobahn Stuttgart-Ulm), ist durch vollständig erhaltene Meersaurier, zum Teil mit mineralisierten Weichteilen, sowie durch komplette Seelilien-Kolonien usw. weltbekannt (OSCHMANN 2000; vgl. Tab. 1).

Der Posidonienschiefer bildet in Süddeutschland den unteren Teil der Toarcium-Stufe (oberste Stufe des Unteren Jura; benannt nach dem Ort Thouars an einem Nebenfluss der Loire in Frankreich). „Erst unmittelbar oberhalb der Fundschicht“ beginnen Ammoniten der Oberen Toarcium-Stufe aufzutreten (HAVLIK et al. 2003, 207; RADEMACHER 2006, 59, 61). Deshalb markiert hier die Oberfläche (Top) der Meersaurierschicht die Grenze zwischen Unterem und Oberem Toarcium (HAVLIK et al.



2005, 198, 202; vgl. Tab.1). Noch detaillierter konnte die Einstufung der Fundschicht mit mikroskopisch kleinen Meeresorganismen (Dinoflagellaten) vorgenommen werden. Das radiometrische Alter der Schicht geben HAVLIK et al. (2006, 23) mit 181 Millionen Jahren an.

Rasche Entstehung der Meersaurier-Schicht. Die Fundschicht ist „mit einzelnen Knochen sowie mit Skelettresten durchsetzt, die durch die Einwirkung der Meeresströmung auseinandergezogen wurden. Mehrfach war jedoch auch noch ein grober körperlicher Verbund erkennbar“ (HAVLIK et al. 2006, 11) – dieser Befund wird öfter betont (RADEMACHER 2006). Man nimmt an, dass die Kadaver oft gegen Baumstämme getrieben wurden, die am Meeresgrund lagen; solche Stämme (jetzt plattgedrückt) finden sich häufig in der Nähe von Skeletten (HAVLIK 2003, 205; RADEMACHER 2006, 53-54; Abb. 1). Während im Posidonienschiefer zwar viele Meersaurierskelette komplett sind (vgl. Tab. 1), aber die Knochen und ihre Position zueinander durch die überlagernden Schichten oft stark gepresst und deformiert wurden, sind sie im Eislunger Fischsaurierfriedhof erstaunlicherweise

Abb. 1: Teil des Skeletts eines fast 6 m langen Fischsauriers der Gattung Temnodontosaurus, nach dessen Verwesung viele Skelettbestandteile durch Strömungen stark durcheinander gewirbelt wurden. Unten Teil eines (jetzt plattgedrückten) Baumstamms, gegen den das Skelett vermutlich geschwemmt wurde. Bei einem Teil der kurzen und geraden, spitz zulaufenden Elemente handelt es sich jedoch um Belemniten, die schon vor den Meersauriern abgelagert wurden (s. Text). Abdruck mit freundlicher Genehmigung von Dr. R. RADEMACHER.

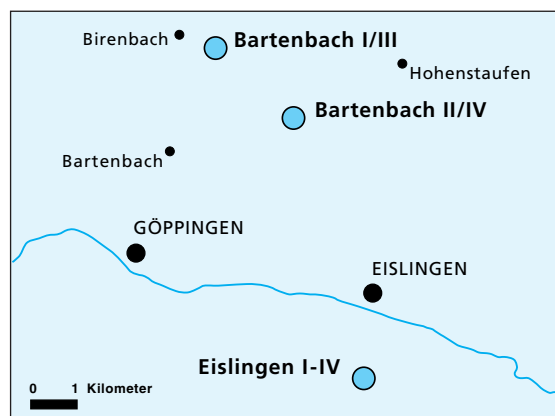


Abb 2: Der „Meersaurierfriedhof“ bei Eislungen besitzt eine enorme Ausdehnung, die sich über mindestens 20 Quadratkilometer erstreckt, wie die Fundstellen an der B 10-Trasse südlich Eislungen (I-VI) sowie 6 km nordnordwestlich bei Bartenbach (II/IV) und noch 2 km weiter nordwestlich bei Birenbach (Bartenbach I/III) zeigen.

Oberer Unterjura	Jurensismergel-Formation	Obere Toarcium-Stufe	Ammonitenzonen des Oberen Toarcium	Insgesamt fünf „Belemniten-schlachtfelder“ ohne Anreicherung von Meersaurierknochen
	Posidonienschiefer-Formation	Untere Toarcium-Stufe	bifrons-Ammonitenzone	Meersaurierfriedhof im „Belemniten-schlachtfeld“ (bis 10 cm) In der weiteren Umgebung: Abtragung des oberen Posidonienschiefers (Bereich der <i>bifrons</i> -Ammonitenzone) und Ausspülung seiner Ammoniten und Belemniten; sie wurden verschwemmt und über dem Posidonienschiefer bei Eislungen als sog. „Belemniten-schlachtfeld“ angereichert (oben!)
			Ältere Ammonitenzonen des Unteren Toarcium	Konservat-Fossilagerstätte mit gut erhaltenen Meersauriern, Fischen und Seelilien (besonders bekannt von Holzmaden bei Kirchheim/Teck)

Tab. 1: Vereinfachte Tabelle des Oberen Unterjura mit den im Text erwähnten geologischen Bezeichnungen und Ereignissen sowie der Position des Meersaurierfriedhofs in der Schichtfolge bei Eislungen/Fils (Württemberg). Im Gegensatz zu Belemniten und Ammoniten im „Belemniten-schlachtfeld“ wurden u.a. die in der gleichen Schicht eingebetteten Meersaurier und Fische nicht umgelagert. Vielmehr dürfte es sich um Opfer eines enormen Massensterbens infolge einer großen Umweltkatastrophe handeln; ihre Kadaver wurden in der Umgebung von Eislungen direkt abgesetzt.

weitgehend dreidimensional erhalten. Ferner zeigen sie feinste Details der Knochenoberfläche, zum Beispiel die Eintrittskanäle für Blutgefäße oder die Ansatzstellen für die Muskulatur (HAVLIK et al. 2005, 200). Verschiedene, in anatomisch korrekter Position zusammen liegende Skeletteile ermöglichen so neue Erkenntnisse über den Körperbau von Fischeosauriern (HAVLIK et al. 2006, 13-16).

Die zahllosen Belemniten und auch die Ammoniten der Meersaurier-Fundschicht stammen also aus dem darunter liegenden Posidonienschiefer. Nicht aber die gut erhaltenen Meersaurierknochen, denn sonst wäre der einstige Skelettverband (s. o.) nicht mehr erkennbar. Eine Umlagerung wie bei den Ammoniten und Belemniten ist daher nicht denkbar, zumal auch die Knochen nicht abgerollt sind. Die Besonderheit dieser Fossilagerstätte zeigt sich auch darin: In der Schichtfolge über der Saurier-Lagerstätte, der Jurensismergel-Formation (Obere Toarcium-Stufe, Oberster Unterjura) bei Eislungen kommen noch weitere fünf Horizonte mit „Belemniten-Schlachtfeldern“ vor; sie werden aber nicht von Knochenresten begleitet (RADEMACHER 2006, 63; vgl. Tab. 1).

Nur die obersten Lagen der Belemniten zeigen deutliche Spuren von Bewuchs, etwa mit kleinen Röhrenwürmern und Austernschalen (RADEMACHER 2006, 63). Auch einige Knochenreste sind mit Röhrenwürmern bewachsen. HAVLIK et al. (bei RADEMACHER 2006, 57-58) setzen für den Aufwuchs dieser Siedler einige Monate an (vgl. HAVLIK et al. 2003, 205). Bevor die Knochen bewachsen werden konnten, waren natürlich die Weichteile der Saurierkadaver am Meeresboden verwest, was heute

– zumal unter subtropisch-/tropischen Bedingungen – maximal wenige Wochen dauert (vgl. SCHÄFER 1962, 17-48). Teilweise wurden die Knochen durch Strömungen zerstreut (s.o.). Fische sind viel stärker zerfallen; aber auch von ihnen wurden zahlreiche Reste gefunden (HAVLIK et al. 2005, 200). Teilweise sind sie lagig angereichert; am besten blieben die widerstandsfähigen Zähne und die harten Ganoinschuppen von Schmelzschuppen erhalten (RADEMACHER 2006, 70, 76, 84). Nachdem das Leichenfeld maximal einige Monate unbedeckt blieb und von Röhrenwürmern und Austern besiedelt war, wurde es samt dem spärlichen Aufwuchs endgültig mit Sediment zugedeckt. HAVLIK et al. (2006, 21) betonen die „rasche Sedimentbedeckung“ für einen bestimmten Fischeosaurier mit teilweise zusammenhängenden Knochen; das trifft jedoch auf den ganzen Meersaurierfriedhof zu. Es ist also plausibel, dass die Saurierschicht „tatsächlich durch ein recht kurzfristig wirkendes Ereignis entstand und nicht durch einen lang andauernden Prozess“. Anschließend wurde die frisch abgelagerte, alles bedeckende Sedimentschicht mit zahllosen Grab- und Fraßspuren durchzogen (RADEMACHER 2006, 55, 67). Die Spurenerzeuger ernährten sich wohl von übrig gebliebenen organischen Resten. Lange muss das nicht gedauert haben; heute werden die obersten 5-8 cm von neu gebildetem Sediment „innerhalb weniger Tage“ vollständig durchwühlt (TUREKIAN 1985, 152).

Gashydrat-Vergiftung als Ursache des Massensterbens? Wie kam es zum Massentod der Meersaurier, Fische usw.? Entscheidend ist nach MONTENARI (bei RADEMACHER 2006, 93-100; vgl. HAVLIK et al. 2006, 24-27), dass in der Fundschicht das Kohlenstoffisotop ^{12}C gegenüber dem Isotop ^{13}C etwa um das Doppelte erhöht ist. Genauso rasch, wie die Werte steigen, fallen sie darüber wieder auf ihre ursprünglichen Beträge. „Die Isotopenanomalie muss also auf ein schnell einsetzendes und auch rasch wieder abklingendes Ereignis zurückzuführen sein“, auf einen „Event“. Die einzige schlüssige Erklärung sei der Zerfall von Methanhydrat; es besteht aus Wasser (H_2O) und Methan (CH_4) „mit extrem starker Anreicherung von ^{12}C “ (MONTENARI bei RADEMACHER 2006, 99). Methanhydrat ist ein Clathrat (von lat. *Clathri*, Gitter), also ein Gashydrat, bei dem Methangas in einem Kristallgitter aus Wassermolekülen als sogenanntes „Methaneis“ eingeschlossen ist. Man findet es sehr reichlich am Rand heutiger Ozeane ab einer Wassertiefe von 500 Metern; es kann bis zu 1000 m tief im Sediment vorkommen. Nur unter hohem Druck und bei niedriger Temperatur sind die „Gitterstrukturen“ stabil – sonst zerfällt Methanhydrat in seine Bestandteile Methan und Wasser. Für Methanhydrate gelten Bildungstemperaturen von 2 °C bis 4 °C und der Druck einer Wassersäule von mehreren Hundert Metern als optimal; KUDRASS et al. (2004,

486) geben mit 4 °C bis 10 °C ein etwas höheres Temperaturfenster und etwas geringere Wassertiefen (unter 300 m) an.

Natürlich war nach MONTENARI das Unterjura-Meer Süddeutschlands bei einer angenommenen Tiefe von 150 bis 200 Metern zu flach und zu warm für die Bildung stabiler Methanhydrate. Es lag damals in den Tropen (so MONTENARI bei RADEMACHER 2006, 99) bzw. in den Subtropen (so HAVLIK et al. 2006, 26). Deshalb müssten sich die Methanhydrate im Dauphiné-Meeresbecken gebildet haben; seine Wassertiefe wird mit 2000 m angegeben. Paläogeographisch betrachtet lag es „vor der Haustür“, nämlich zwischen dem Areal des *heutigen* westlichen Alpenbogens und dem Bereich des *heutigen* französischen Zentralmassivs. Man geht davon aus, dass andere Gebiete aufgrund ihrer paläogeographischen Konstellation (zu weit weg) oder wegen der Nichterfüllung der notwendigen physikalischen Bedingungen ausscheiden.

Es wird also angenommen, dass durch (nicht näher erläuterte) Änderungen von Druck und/oder Temperatur im Dauphiné-Meeresbecken eine große Menge Methanhydrat zerfallen sei; das frei gewordene Methan perlte in der Wassersäule nach oben. „Dabei werden die Schichtungsverhältnisse des Meeres massiv durcheinander gewirbelt.“ Für den bodennahen Wasserkörper des benachbarten Posidonienschiefer-Meeres nimmt man seit langer Zeit weitgehendes Fehlen von Sauerstoff, aber reichlich giftige Schwefelwasserstoffverbindungen an (vgl. RÖHL 1998, 110-116; SCHMIDT-RÖHL 1999, 40-45). Da die Meersaurier-Fundsicht direkt über dem Posidonienschiefer liegt (HAVLIK et al. 198, 202; RADEMACHER 2006, 61, 98), kann man diese lebensfeindlichen Verhältnisse für das Katastrophen-Szenario wahrscheinlich annehmen: Man geht nun davon aus, dass das außerordentliche Methan die bodennahen, hochgiftigen und weitgehend sauerstofffreien Wassermassen hochriss, so dass sie sich mit dem oberen belebten Wasserkörper mischten. Durch Meeresströmungen gelangte die toxische Wassermasse dann in den Bereich des heutigen Württemberg – dort rissen Schwefelwasserstoff und Sauerstoffarmut große Teile der Lebewelt des Meeres in den Tod. Für die Meersaurier als Lungenatmer wird vermutet, dass sie „entweder rasch durch Schwefelwasserstoffverbindungen vergiftet“ wurden „und/oder verhungerten“, weil ihre Beutetiere bereits in großer Zahl umgekommen waren. Der sehr hohe Anteil des Kohlenstoffisotops ^{12}C in der Meersaurier-Fundsicht wird also auf das Gas Methan (CH_4) zurückgeführt (s.o.).

Probleme der Gashydrat-Hypothese. Dieses Modell hat jedoch zumindest mit folgendem Problem zu kämpfen: Auch wenn das Meer im Dauphiné-Becken 2000 m tief gewesen sein sollte, ist es sehr unwahrscheinlich, dass sein Bodenwasser nur wenige Grad Celsius über dem Gefrierpunkt lag.

Denn viele Befunde deuten daraufhin, dass sich erst im Alttertiär das ozeanische Tiefenwasser stark abzukühlen begann: Vom Paläozän bis zum Miozän sank es nach WIEGANK (1993, 171) unter Schwankungen auf ca. 6 °C ab (später ging die Temperatur noch weiter zurück), weil zunehmend kaltes Oberflächenwasser in der Umgebung der Antarktis auf den Ozeanboden sank und nach und nach die Tiefseebecken auffüllte (zu den globalen Hintergründen z.B. WEFER & BERGER 2001, 87-96). Der „erste sichere Nachweis von Eisdrit-Sedimenten“ stammt aus dem Oberen Oligozän der Ross-See; das belege „begrenzte lokale Vergletscherungen“ der Antarktis (so WIEGANK 1993, 171). Dagegen wird angenommen, dass bis zum Ende der Kreide die Temperatur der ozeanischen Bodenwassermassen nicht unter 15 °C betragen habe (WIEGANK 1993, 170-171; vgl. KUDRASS et al. 2004, 483-485).

Vereinzelte wurden zwar für den Unteren Jura Vereisungszyklen in Sibirien angenommen (ZIEGLER 1990, 94), aber allgemein geht man für die Zeit der Posidonienschiefer-Formation „mit hoher Wahrscheinlichkeit von eisfreien Polen“ aus (SCHMIDT-RÖHL 1999, 157; ebenso RÖHL 1998, 137). Das gilt nicht nur für die Zeit des Unteren Toarciums, sondern allgemein: „Im Mesozoikum und im beginnenden Känozoikum waren die Polargebiete nach allen geologischen und paläontologischen Erkenntnissen nicht vereist“ (SEIBOLD & THIEDE 1997, 48). Man nimmt an, dass die mittlere Meerestemperatur durchschnittlich 10 °C höher als die heutiger Meere gemäßiger Breiten war (DE WEVER 2000, 68; vgl. BORGER 2000, 170-172). Nach den paläogeographischen Rekonstruktionen bestand damals keine *Tiefwasserverbindung* zwischen dem Dauphiné-Becken und dem weiter südöstlich gelegenen Tethys-Ozean (vgl. ZIEGLER 1990, Fig. 44; DE WEVER 2000, 66). Im heutigen Alpenbereich rekonstruiert man zwar kleinräumige tiefere Becken, die aber durch Flachmeer-Schwellen voneinander getrennt waren (GEYER 1993, 38; vgl. DE WEVER 2000, 69). Weiter gab es eine schmale, flache Meeresstraße nach Norden, wo sich der von Landmassen umgebene, nach Norden offene Bereich des arktischen Meeres anschloss (RÖHL 1998, 137-138). Selbst wenn in der damaligen Tiefsee ein kalter Bodenwasserkörper vorhanden gewesen wäre, was sehr unwahrscheinlich ist, hätte schon wegen der fehlenden Tiefwasserverbindungen das Dauphiné-Becken nicht mit Kaltwasser versorgt werden können. „Im Unterschied dazu leben wir heute in einer Zeit mit kalten, rasch zirkulierenden Ozeanen“ (OSCHMANN 2000, 142). Für das Posidonienschiefer-Flachmeer geben OSCHMANN et al. (1999, 249) Temperaturen von 25 °C bis 30 °C an; darauf deutet u.a. das Vorkommen von Meereskrokodilen hin (SCHMIDT-RÖHL 1999, 162). Zwar dürfte das Tiefenwasser im Dauphiné-Becken deutlich kühler gewesen sein; aber es ist sehr unwahrscheinlich, dass seine Temperatur nur wenige Grad Celsius

über Null betrug, wie es für Methanhydratbildung nötig ist.

Fazit. Der Meersaurierfriedhof von Eisingen belegt deutlich einen katastrophischen Massentod vieler Tiere und die schnelle Entstehung einer Fundschicht. Aber dass dafür „mit an Gewissheit grenzender Wahrscheinlichkeit“ (!) – so sehr selbstgewiss MONTENARI bei HAVLIK et al. (2006, 26; ebenso RADEMACHER 2006, 99) – ein großer Methanhydratzerfall im Dauphiné-Becken verantwortlich ist, dürfte viel weniger gesichert sein.

Manfred Stephan

Literatur

- BINDER H & STEPHAN M (2005) Fossillagerstätten in Süddeutschland – Ursachen für Massensterben. *Stud. Int. J.* 12, 81-84.
- BORGER H (2000) Mikromorphologie und Paläoenviroment. *Boden • Relief • Paläoklima*, Bd. 15; Berlin-Stuttgart: Borntraeger, 243 S.
- DE WEVER P (2000) Europa im Mesozoikum. In: MEISCHNER D (Hg) Europäische Fossillagerstätten. European Palaeontological Association; Berlin etc.: Springer, 65-71.
- GEYER OF (1993) Die Südalpen zwischen Gardasee und Friaul. *Sammlg. Geol. Führer*, Bd. 86; Berlin-Stuttgart: Borntraeger, 576 S.
- HAVLIK P, MAISCH MW, MONTENARI M & RADEMACHER R (2003) Der Ichthyosaurierfriedhof von Eisingen – Freilegung einer paläontologischen Fundstelle mit archäologischen Methoden. *Hohenstaufen/Helfenstein. Hist. Jb. Kreis Göppingen* 12, 2002, 203-208.
- HAVLIK P, MONTENARI M, RADEMACHER R & PFRETZSCHNER H-U (2005) Neue Erkenntnisse zum Phänomen „Fischsaurierfriedhof Eisingen“ – die Ausgrabungen der Jahre 2003 und 2004. *Hohenstaufen/Helfenstein. Hist. Jb. Kreis Göppingen* 13, 2003, 197-206.
- HAVLIK P, MONTENARI M, RADEMACHER R & PFRETZSCHNER H-U (2006) Das Phänomen „Fischsaurierfriedhof Eisingen“ – Neues zu den Ausgrabungen und zum Stand der Forschung. *Hohenstaufen/Helfenstein. Hist. Jb. Kreis Göppingen* 14, 2004, 11-28.
- KUDRASS H-R, ERBACHER J & VOLBERS A (2004) Das Ozean-Bohrprogramm ODP. Bilanz und Ausblick. *Naturwiss. Rdsch.* 57, 477-488.
- OSCHMANN W (2000) Der Posidonienschiefer in Südwest-Deutschland, Toarcium, Unterer Jura. In: MEISCHNER D (Hg) Europäische Fossillagerstätten. European Palaeontological Association; Berlin etc.: Springer, 137-142.
- OSCHMANN W, RÖHL J, SCHMIDT-RÖHL A & SEILACHER A (1999) Der Posidonienschiefer (Toarcium, Unterer Jura) von Dotternhausen. *Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver. NF* 81, 231-255.
- RADEMACHER R (2006, Hg) In einem Meer vor unserer Zeit. Das Jurameer vor 181 Millionen Jahren; Eisingen/Fils, 111 S.
- RIEGRAT W, WERNER G & LÖRCHER F (1984) Der Posidonienschiefer. *Biostratigraphie, Fauna und Fazies des südwestdeutschen Untertoarciums (Lias E)*; Stuttgart: Enke, 195 S.
- RÖHL H-J (1998) Hochauflösende palökologische und sedimentologische Untersuchungen im Posidonienschiefer (Lias E) von SW-Deutschland. *Tübinger geowiss. Arb.* A 47, 170 S.
- SCHÄFER W (1962) *Aktuo-Paläontologie nach Studien an der Nordsee*. Senckenberg-Buch, 41. Frankfurt/M.: Kramer, 667 S.
- SCHMIDT-RÖHL A (1999) Hochauflösende geochemische Untersuchungen im Posidonienschiefer (Lias E) von SW-Deutschland. *Tübinger geowiss. Arb.* A 48, 189 S.
- SEIBOLD E & THIEDE J (1997) Die Geschichte der Ozeane nach Tiefbohrungen. *Akad. Wiss. Lit. Mainz – Abh. Math.-Natwiss. Kl.*, 2; Stuttgart: Steiner, 62 S.
- TUREKIAN KK (1985) Die Ozeane. *Geowissen kompakt*, Bd. 8; Stuttgart: Enke, 202 S.
- WEFER G & BERGER WH (2001) Klima und Ozean. In: HUCH M, WARNECKE G & GERMANN K (Hg) *Klimazeugnisse der Gegenwart. Perspektiven für die Zukunft*; Berlin etc.: Springer, 51-107.
- WIEGANK F (1993) Korrelation und Chronologie paläoklimatischer Ereignisse des Pliozäns und Pleistozäns. *Petermanns Geograph. Mitt.* 137, 169-182.
- ZIEGLER PA (1990) *Geological Atlas of Western and Central Europe*; Amsterdam-Den Haag: Shell Internationale Petroleum Maatschappij B.V., 239 pp.

Wasser auf dem Mars

Zusammenfassung: Die europäische Raumsonde Mars-Explorer hat große Wassermengen auf dem Mars entdeckt. Das ist schon der vierte Ort im Sonnensystem, an dem Wasser vorkommen soll. Vorkommen von Wasser wird aber immer weniger mit Vorhandensein von Leben gleichgesetzt.

Die im Juni 2003 gestartete europäische Raumsonde Mars Express hat jetzt eine kleine Sensation erbracht (PLAUT et al 2007): Es gibt offenbar auch heute riesige Wassermengen auf dem Mars. Damit wäre der Mars wahrscheinlich bereits wenigstens der vierte Ort in unserem Sonnensystem außerhalb der Erde, wo Wasser entdeckt wurde. Kürzlich wurde über Wasser auf dem Saturnmond Enceladus berichtet (NIMMO et al. 2007). Der Jupitermond Europa hat wahrscheinlich ganze Ozeane unter

einer dicken Eisschicht und auf dem Merkur finden sich in Polkratern Eisablagerungen. Dafür, dass früher auf dem Mars Wasser geflossen ist, wurden schon lange geologische Argumente angeführt. Dazu gehören Landschaftsformen, die an ausgetrocknete Flussbetten erinnern, und Rundungen von Steinen, die auf Wassertransport hinweisen (vgl. PAILER & KRABBE 2006). Wie viel Wasser in welcher Marsperiode wirklich geflossen ist, ist jedoch immer noch Gegenstand von Untersuchungen und Debatten. Im Jahr 2002 kamen durch die Analyse von Aufnahmen der Marssonden *Mars Global Surveyor* und *Mars Odyssey* weitere Hinweise dazu, die schließlich auf Oberflächeneis an den Marspolen hindeuteten.

Die Pole des Mars tragen eine etwa 1000 km