

Klimazeugen der Erdgeschichte - extremes Treibhausklima während der Kreidezeit im Vergleich zu heutigen Umweltveränderungen

Michael Wagreich

Department für Geodynamik und Sedimentologie, Universität Wien

michael.wagreich@univie.ac.at

Zusammenfassung

Sedimentäre Archive der Erdgeschichte geben Auskunft über die Paläoklimaentwicklung und Paläoumweltveränderungen. Für die Kreidezeit wird ein extremes Treibhausklima rekonstruiert. Innerhalb von Kreidesedimenten der Ostalpen wie etwa dem Ultrahelvetikum und der Kalkalpen können sauerstofffreie Todeszonen auf Grund von Schwarzschiefersedimentation und tropisch-subtropische Klimabedingungen sowie häufige Hurrikans und Sedimentlawinen in die Tiefsee rekonstruiert werden. Schlussfolgerungen für die rezenten Umweltänderungen können gezogen werden.

Abstract

The sedimentary archives in Earth history give information on the evolution of paleoclimates and past global change. The Cretaceous was characterized by an extreme greenhouse climate. Within the Cretaceous deposits of the Eastern Alps, including Ultrahelvetic units and the Northern Calcareous Alps, anoxic death layers can be reconstructed based on the occurrence of black shales besides frequent hurricanes and deep-water turbidity currents. Implications for recent global change can be given.

1. Einleitung

Die Rekonstruktion des Klimas und dessen Veränderung in der erdgeschichtlichen Vergangenheit basiert auf erhaltenen Klimaarchiven, vorwiegend in Sedimenten und Sedimentgesteinen. Diese werden, unter anderem, durch das herrschende Klima zur Zeit ihrer Ablagerung geprägt und können damit als Archive zur Klimarekonstruktion benutzt werden, genauso wie auftretende Mikro- und Makrofossilien, die nicht nur Auskunft über den Ablagerungszeitraum sondern auch über die Umweltbedingungen geben können (u.a. Mandl, 2010). Im wesentlichen werden dabei Klimaparameter nicht direkt gemessen, sondern stellvertretend "Proxydaten", d.h. im Sediment überlieferte geochemische Parameter, die auf das damals herrschende Klima (Temperatur, Niederschlag) direkt oder indirekt rückschließen lassen. Im folgenden werden verschiedene Proxydaten aus Sedimentgesteinen aus der Kreidezeit (ca. 145 - 66 Mio. Jahre vor heute) aus den Kalkalpen und der vorgelagerten Zone des Helvetikums herangezogen, um Phasen von Treibhausklima und deren Umweltauswirkungen in der Erdgeschichte zu belegen und zu interpretieren.

Die Kreidezeit ist die letzte Phase eines langandauernden und teilweise extremen Treibhausklimas der Erdgeschichte. Rekonstruktion des Kohlendioxidgehaltes der Atmosphäre mit Hilfe verschiedener Proxydaten wie u.a. Paläoböden und Pflanzenfossilien belegen das 4 – 10-fache (1000-3000 ppm) des prä-industriellen Kohlendioxidgehaltes (z.B. Hay, 2011) in der mittleren Kreidezeit (ca. 125 - 90 Mio. J.). Diese hohen Gehalte an Treibhausgasen werden auf starken Vulkanismus, also die Ausgasung von großen vulkanischen Provinzen (LIPs, „Large Igneous Provinces“) zurückgeführt. Dieser verstärkte Treibhauseffekt führte zu einem Temperaturmaximum vor ca. 100 - 90 Mio. J. (Kreidestufen Cenomanium/Turonium) mit durchschnittlichen Ozeanoberflächentemperaturen am Äquator mehr als 10° wärmer im Vergleich zu heute ("Sea Surface Temperature", SST = 35° - 42°C, heute maximal 27°C) und Tiefenwässern in mehreren 1000 m Wassertiefe bis zu 15° wärmer als heute (gebietsweise bis zu 15-20°C; vergleiche Friedrich et al., 2012). Durch dieses warme und ausgeglichene Klima gab es keine Eiskappen auf den Kontinenten, dafür immergrüne Vegetation mit Palmen-ähnlichen Arten und Krokodilen etwa auf Grönland. Gleichzeitig ist die Erde geprägt durch den höchsten Meeresspiegel der letzten 500 Mio. J. Durch das Fehlen von Eiskappen und die gleichzeitiger Hochlage der neuproduzierten mittelozeanischen Rücken ist der Meeresspiegel mindestens 120 m, wahrscheinlich sogar mehr über heutigem Niveau und weite Teile der Kontinente waren durch Flachmeere überschwemmt (Hay, 2011). Ein schwacher Temperaturgradient vom Äquator zu den Polen führte zu einem Stagnieren der Ozeanströmungen, und in der Folge zur Entstehung von sauerstofffreien „Todeszonen“ in den Ozeanen (OAEs, "Oceanic Anoxic Events", Wagreich et al., 2010). Die extrem warmen Treibhausverhältnisse führten zu marinen Planktonblüten und einer starken Abnahme des Sauerstoffgehalts der Ozeane, sodass am Höhepunkt der Treibhausphase stagnierende Ozeane und globale sauerstofffreie Todeszonen mit freiem Schwefelwasserstoff die tieferen Bereiche der Meere und der Schelfzonen beherrschten. Meeressedimente, die diese Todeszonen aufzeichnen, sind durch organische, kohlenstoffreiche Reste und durch fein verteilten Pyrit typischerweise schwarz gefärbt und werden als Schwarzschiefer bezeichnet.

2. Todeszonen im Supertreibhaus

Die Ostalpen waren zur Kreidezeit ein Ablagerungsraum im Tethysmeer, einem äquatornahen, kompliziert gebauten Meeresgolf in der Verbindung zum sich bildenden Atlantik, und somit nahe dem Zentrum des extrem heißen Treibhausklimas. In der Buntmergelserie des Ultrahelvetikums, einer langgestreckten, tektonisch komplizierten Zone am Nordrand der Kalkalpen zu der etwa auch der Gschlifgraben bei Gmunden gehört (Wagreich & Neuhuber, 2007), finden sich Schwarzschiefer aus dem Zeitraum vor 94 Mio. J. (Cenomanium-Turonium Grenzbereich). Im Rehkogelgraben bei Hagenmühle wurden diese Gesteine näher untersucht (Wagreich et al., 2008; Gebhardt et al., 2010, Pavlishina & Wagreich, 2012). Sie führen abnormal hohe Gehalte an organischem Material (> 5% organischer Kohlenstoff), bedingt durch das Absterben und das Einbetten von mikroskopisch kleinen Planktonlebewesen wie etwa Foraminiferen, Dinoflagellaten und Coccolithen. Gleichzeitig kann eine Versauerung der Ozeane durch Kalklösung und Schwefelwasserstoff nachgewiesen werden.

Die Rekonstruktion der Ablagerungsbedingungen in der Zeitabfolge zeigt, dass es mehrere Zehntausende bis Hunderttausende Jahre dauerte, bis das System Erde sich von diesem einzelnen Extremereignis erholte und der enorme Treibhausgasüberschuss durch Begraben des Kohlenstoffs in Meeressedimenten und Verwitterung einigermaßen abgebaut wurde. Im Vergleich liegen die rekonstruierten Anstiegsraten der Treibhausgase in der Kreidezeit bei Werten in etwa hundertfach langsamer als heute.

3. Klimazeugen der Gosau-Gruppe

Die Gosauschichten (Gosau-Gruppe, nach dem Ort Gosau in Oberösterreich benannt; Wagreich, 1988) der Kalkalpen stellen ein hervorragendes Paläoklimaarchiv für die ausgehende Zeit der letzten massiven Treibhausphase der Erde dar. Die Schichten der Gosau-Gruppe liegen auf einem verfalteten und gestörten Untergrund von Trias- und Juragesteinen, der sich während der ersten Gebirgsbildung der Ostalpen vor ca. 100 Mio. J. gebildet hat (Wagreich, 1988, 2003). Durch diese Gebirgsbildung kam es auch zur ersten Heraushebung der Kalkalpen über den Meeresspiegel. Das Gosaubecken lag damals in etwa 30° nördlicher Breite.

Rote und bräunliche Grobseimente bilden typischerweise die Basis der Gosauschichten, im weiteren Umfeld treten auch immer wieder Bauxite an der Basis der Gosau-Gruppe auf (Wagreich, in Egger & van Husen, 2011). Bauxite sind Reste extremer fossiler Bodenbildungen in einem tropischen (bis subtropischen) Klima („lateritische Verwitterung“, heute z.B. im äquatorialen Afrika oder in Indien und Brasilien). Dabei kommt es durch starke chemische Verwitterung mit Humussäuren zur Auflösung von Kalk und Quarz im Boden, sodass nur mehr Aluminium- ($\text{Al}(\text{OH})_x$) und Eisenverbindungen (z.B. Fe_2O_3 = Rotfärbung!) übrigbleiben. Bauxite an der Basis der Gosauschichten wurden als Aluminiumerze z.B. in Unterlaussa (heute Nationalpark Kalkalpen, OÖ) abgebaut. Sie beweisen: (1) eine erste Heraushebung der Kalkalpen vor ca. 90 Mio. J. (erste Gebirgsbildung), (2) ein tropisches Klima zu der Zeit im Gebiet der Kalkalpen.

Kennzeichnend für die überlagernden Sedimente (Kreuzgraben-Formation) sind bis zu mehrere Meter dicke Konglomeratbänke, die auf die Ablagerung von murenartigen Schuttströmen auf alluvialen Schwemmfächern und Schwemmkegeln sowie Gebirgsflüssen schließen lassen (Wagreich, 2003). Im Gebiet der Neualpe nördlich von Rusbach, treten auch Kohlelagen und Süßwasserschnecken als Reste kleiner Tümpel und Sümpfe auf. Zusammen mit der tropisch-subtropischen Vegetation (u.a. Mangrovenpalmen) lässt das wieder auf ein warmes, humides Klima mit geringen jahreszeitlichen Schwankungen und regelmäßigen Hochwässern schließen.

In den folgenden marinen Schichten wie etwa den typischen grauen Gosaumergeln (Grabenbach-Formation), die Schlammablagerungen in tieferen, küstenferneren Schelfgebieten in etwa 30 bis 150 m Wassertiefe darstellen, sind Anzeichen für häufige Extremsturmereignisse (fossil überlieferte Hurrikans) erhalten in Form von groben Schuttlagen mit marinen Fossilien und typischen Sturmsandsteinlagen ("Tempestite"). Offenbar kam es in diesem flachen Schelfmeer immer wieder zu katastrophalen Sturmereignissen, die Wassermassen gegen die Küste drückten und zu Ablagerungen von Sandsteinen unter dem Einfluss von starken Küstenströmungen, Rückschwallströmungen und hohen Sturmwellen führten. Im Seichtwasser bildeten sich kleine Riffe, die vor allem durch Rudisten, eine Gruppe von Kreidemuscheln, aufgebaut wurden, oft aber durch Stürme wieder zerstört wurden und daher keine großen Riffbauten bilden konnten wie etwa das australische Barriereriff heute.

In der folgenden Phase des auslaufenden Treibhausklimas ab etwa 80 Mio. J. bildeten sich Tiefwasserablagerungen in der Gosau-Gruppe, etwa die roten Tiefseekalke und Mergel bei Abtenau (Postalmstraße) oder Ablagerungen von grobkörnigen Sedimentlawinen (Trübstömen) bei den Gosauer Schleifsteinbrüchen am Ressen (Ressen-Formation) oder bei der Zwieselalm (Zwieselalm-Formation).

Als finale Katastrophe der Kreidezeit vor 66 Mio. J. (Kreide-Tertiär-Grenze, KT) erfolgte ein Einschlag eines Asteroiden zusammen mit starkem Vulkanismus in Indien, wodurch ein Massensterben und damit eins der größten Aussterbeereignisse der Erdgeschichte ausgelöst wurde (u.a. Egger et al., 2009), bei dem etwa 70% aller damals lebenden Tiergattungen ausgestorben sind. Das rekonstruierte Katastrophenszenario beinhaltet eine durch den Einschlag eines ca. 10 km großen Asteroiden ausgelöste Erdbeben-Schockwelle mit enormen Tsunamiwellen bis 300m Höhe, globale Brände und eine folgende Verdunklung der Erde und Übersäuerung der Ozeane.

Dieser "Impaktwinter" durch enorme Mengen von Staub, Aerosolen und Ruß in der Atmosphäre dauerte über Monate oder Jahre. Somit drang kein Sonnenlicht an die Erdoberfläche, wodurch ein starker Temperaturabfall ausgelöst wurde, aber auch der Ausfall der Photosynthese des Phytoplanktons die Nahrungsketten stark beeinflusste, und somit zum Aussterben vieler Tierarten bis hin zu den Dinosauriern führte. Dieses Ereignis beendete auch die lange Treibhausphase der Kreidezeit.

4. Schlussfolgerungen

Aus der Erdgeschichte, etwa der Klimaentwicklung der Kreidezeit mit ihren auch in Österreich erhaltenen Klimazeugen, können auch wesentliche Schlussfolgerungen für die heutige Klimaerwärmung und die durch den Menschen ausgelösten globalen Umweltänderungen gezogen werden.

(1) Die Erdgeschichte überliefert ein Paläoklima-Archiv mit den abgelagerten Sedimenten, das Klimaschwankungen und Klimakatastrophen zeigt, die weit über heutigen Schwankungen hinausgehen und bis zu extremen Treibhausklima wie in der Kreidezeit reichen.

(2) Die natürlichen Anstiegsraten und Abbauraten von Treibhausgasen in der Erdgeschichte sind ca. 100-fach langsamer als der heute feststellbare, durch den Menschen induzierte Kohlendioxid-Anstieg, sodass Zeiträume von 10.000e – 100.000e Jahre kalkuliert werden können, um diese Treibhausgase natürlich abzubauen.

(3) Die Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre wird jene des "Super"-Treibhausklimas der Kreidezeit (ab dem 4-fachen des prä-industriellen Wertes) ab 2190 – 2260 erreichen (Hay, 2011), und Folgen wie die Ausbreitung von sauerstofffreien Todeszonen in den Ozeanen sowie verstärktes Auftreten extremer Ereignisse wie etwa Hurrikans sind aus der erdgeschichtlichen Überlieferung her wahrscheinlich.

(4) Die globale Erwärmung wird einen Anstieg des Meeresspiegels auslösen mit Raten die bis zu 1-4m/100 Jahre kalkuliert werden, eine Rate, die im normalen Ablauf der Erdgeschichte wohl noch nie erreicht wurde.



Abb. 1: Schwarzschiefer im Rehkogelgraben bei Gmunden als Zeugen sauerstofffreier Ablagerungsbedingungen während extremer Treibhausphasen in der Erdgeschichte.



Abb. 2: Schelfmergel der Grabenbach-Formation mit Sturmsandsteinlagen (dünne, härtere Lagen in der Bildmitte) deren Sedimentation durch Hurrikans ausgelöst wurde (Grabenbach bei Gosau).

Literatur

- Egger, H. & Van Husen, D. (2011): Erläuterungen zu Blatt 69 Grossraming. - Geologische Bundesanstalt, 119 S., Wien.
- Egger, H., Koeberl, C., Wagreich, M. & Stradner, H. (2009): The Cretaceous-Paleogene (K/Pg) boundary at Gams, Austria: Nannoplankton stratigraphy and geochemistry of a bathyal northwestern Tethyan setting. *Stratigraphy*, 6, 333-347, Washington.
- Friedrich, O., Norris, R.D., Erbacher, J. (2012): Evolution of middle to Late Cretaceous oceans. A 55 my record of Earth's temperature and carbon cycle. *Geology* 40, 107-110, Boulder.
- Gebhardt, H., Friedrich, O., Schenk, B., Fox, L., Hart, M. & Wagreich, M. (2010): Paleooceanographic changes at the northern Tethyan margin during the Cenomanian-Turonian Oceanic Anoxic Event (OAE-2). - *Marine Micropaleontology* (2010), doi:10.1016/j.sedgeo.2010.06.025, Amsterdam.
- Hay, W.W. (2011): Can humans force a return to a 'Cretaceous' climate? - *Sedimentary Geology* 235, 5-26, Amsterdam.
- Mandl, G.W. (2010): Fossilien als Zeitmarker der Erdgeschichte und Wegweiser im Untergrund. - *Gmundner Geo-Studien* 4, 65-72, Gmunden.
- Pavlishina, P. & Wagreich, M. (2012): Biostratigraphy and paleoenvironments in a northwestern Tethyan Cenomanian-Turonian boundary section (Austria) based on palynology and calcareous nannofossils. *Cretaceous Research*, 38, 103-112, Amsterdam.
- Wagreich, M. (1988): Sedimentologie und Beckenentwicklung des tieferen Abschnittes (Santon-Untercampan) der Gosauschichtgruppe von Gosau und Rußbach (Oberösterreich-Salzburg). - *Jb. Geol. B.-A.*, 131, 663-685, Wien.
- Wagreich, M. (2003): Die Entwicklung des Gosaubeckens während der Kreidezeit. – *Gmundner Geo-Studien* 2, 21-28, Gmunden.
- Wagreich, M., Bojar, A.-V., Sachsenhofer, R.F., Neuhuber, S., Egger, H. (2008): Calcareous nannoplankton, planktonic foraminiferal and carbonate carbon isotope stratigraphy of the Cenomanian–Turonian boundary section in the Ultrahelvetic Zone (Eastern Alps, Upper Austria). - *Cretaceous Research* 29, 965-975, Amsterdam.
- Wagreich, M., Hu, X. & Sageman, B. (2010): Causes of oxic-anoxic changes in Cretaceous marine environments and their implications for Earth systems – an introduction. - *Sedimentary Geology* 235, 1-4, Amsterdam.
- Wagreich, M., Neuhuber, S. (2007): Stratigraphie und Fazies von Helvetikum und Ultrahelvetikum in Oberösterreich. - In: Egger, H., Rupp, Ch. (Ed.): Beiträge zur Geologie Oberösterreichs. Arbeitstagung '07. Geologische Bundesanstalt, 27-40.