

Zahn-Apatit fossiler Selachier: ein Archiv zur Rekonstruktion von Paläökologie und Paläozeanographie warmzeitlicher Schelfmeere (Oberkreide–Paläogen, NW-Europa)

Anne ZACKE

Paleoceanography - paleoecology - greenhouse – shelf sea – events - oxygen isotopes – biogenic phosphates – chondrichthyans – selachians – Upper Cretaceous – Paleogene – Northwest Europe

KURZFASSUNG. Während der Oberkreide und des Paläogens herrschten auf der Erde Treibhausbedingungen und flache Schelfmeere bedeckten große Gebiete Europas. Die Sedimente, die hier zur Ablagerung kamen, sind heute in Aufschlüssen gut zugänglich und es ist nahe liegend, sich dieses Archiv zunutze zu machen um die kurz- und langfristigen Folgen eines Treibhausklimas zu untersuchen.

Die Analyse der Sauerstoffisotopenzusammensetzung fossiler mariner Skelette ist eine etablierte Methode zur Rekonstruktion von Paläowassertemperaturen. Die Zähne von Haien gelten als resistent gegenüber diagenetischer Veränderung und werden nahe dem isotopischen Gleichgewicht gebildet. Einen Zeitraum von über 65 Mio a umfassend, wurde das Sauerstoffisotopenverhältnis von 238 Haizähnen aus oberkreidezeitlichen und paläogenen Ablagerungen Nordwesteuropas analysiert. Die Zähne können verschiedenen ökologischen Gruppen zugeordnet werden: kleinwüchsigen aber auch größeren benthischen Haien sowie großen pelagischen Räubern. Eine erste Fragestellung ergibt sich aus dieser Heterogenität des Materials: Zeigt der Datensatz Unterschiede zwischen den Gruppen, die die verschiedene Lebensweise der Tiere widerspiegelt? Neben diesem Ansatz ist das Hauptziel der Untersuchungen, einen langzeitlichen Klimatrend für den untersuchten Zeitraum abzuleiten.

Ein erstes Ergebnis sind die über den gesamten Zeitraum großen Reichweiten in den Isotopie- und Temperaturwerten, die mit Saisonalitätseffekten und/oder Migrationseffekten erklärt werden können. Die größten Reichweiten zeigen hier die pelagischen Gruppen, was auf die aktive Lebensweise der Tiere, also Migrationseffekte, zurückzuführen ist. Die benthischen Gruppen reflektieren im Gegensatz dazu stabilere Werte und kühlere Verhältnisse, die die Bedingungen ihres Lebensraumes, des Meeresbodens, widerspiegeln. Zwei großwüchsige Gruppen, die benthischen Mitsukurinidae und die pelagischen Odontaspididae, sind für den gesamten Zeitraum belegt. Die Zähne der großwüchsigen Mitsukurinidae zeigen kühle Verhältnisse an, zum Teil liegen die ermittelten Temperaturen unter denen der kleinwüchsigen benthischen Taxa. Möglicherweise besaßen die fossilen Mitsukurinidae eine ähnliche Lebensweise wie ihr einziger rezenter Nachfahre: ein tief benthisches Habitat und das kurzzeitige Einwandern in küstennahe, flach marine Lebensräume. Die Zähne der Odontaspididae, einer großwüchsigen, pelagischen Gruppe, ergeben in der Oberkreide mit niedrigen Temperaturen ein vergleichbares Signal. Sie bevorzugten demzufolge möglicherweise ein ähnlich tiefes Habitat wie die Mitsukurinidae. Im Paläogen zeigt sich hingegen eine sehr große Reichweite in den Daten der Odontaspididae, die Reichweite spiegelt nun die Bedingungen vom Meeresboden bis zur Oberfläche wider. Möglicherweise weiteten die Tiere ihren Lebensraum aus. Die ausgestorbene Gattung *Ptychodus*, die aus dem Zeitraum Cenomanium bis Turonium belegt ist, ergab die höchsten Temperaturen in den jeweiligen Zeitintervallen. Dies ist möglicherweise einem flach küstennahen Habitat der Tiere und damit wärmeren Umweltbedingungen, einem Süßwassereinfluss oder aber dem abweichenden Zahnaufbau geschuldet, der zu einer größeren Anfälligkeit der Zähne gegenüber diagenetischer Überprägung führen kann.

Die langzeitliche Entwicklung zeigt in der Oberkreide zunächst abnehmende $\delta^{18}\text{O}_p$ -Werte, die eine Erwärmung des Schelfs zum Ende des Obercenomanium widerspiegeln. Das Cenomanium ist zusätzlich durch stark schwankende Werte gekennzeichnet, die zwischen 18,5‰ und 22,7‰ (10–28°C; $\delta^{18}\text{O}_w = -1,0\text{‰}$) liegen. Das thermale Maximum und die höchste $\delta^{18}\text{O}_p$ -Variabilität ist im obersten Cenomanium bis zur Cenoman/Turon Grenze zu verzeichnen und fällt zeitlich mit dem Cenoman/Turon Grenzereignis zusammen. Dieses Ereignis ist global durch eine Kohlenstoffisotopen-Anomalie und ein ozeanisch anoxisches Ereignis charakterisiert. Auf dem nordwesteuropäischen Schelf markiert dieses Ereignis eine Wende, die sich in dem Datensatz deutlich widerspiegelt. Die $\delta^{18}\text{O}_p$ -Werte nehmen kontinuierlich zu und zeigen eine langfristige Abkühlung zum Ende der Oberkreide an. Auch die Isotopereichweiten gehen mit 1,7‰ bis 3,0‰ vom Turonium bis in das Maastrichtium deutlich zurück.

Die große Variabilität der Cenoman-Werte kann mit Saisonalität und/oder Migration allein nicht erklärt werden. Als Ursache werden vielmehr instabile Bedingungen auf dem Schelf mit einem unterschiedlich starken Einfluss warm tethyalen Wassermassen und kühler, borealer Wässer diskutiert. Eine weitere Erklärung für die niedrigen $\delta^{18}\text{O}_p$ -Werte im Cenomanium wäre der Einfluss isotopisch leichter Süßwässer z.B. durch erhöhte Niederschlags- und/oder Abflussraten. Dieses Szenario würde zu einer Überschätzung der Wassertemperaturen sowie einem kleineren Gradienten führen.

Der Wechsel im Obercenomanium zu kühleren und stabileren Bedingungen fällt mit einem markanten Fazieswechsel von mergeliger zu karbonatdominierter Kreide zusammen. Diese markanten Änderungen in der Sedimentologie und dem Isotopensignal sind Resultat des steigenden Meeresspiegels im Zuge der Cenoman-Transgression und Ausdruck sich einschneidend ändernder Umweltbedingungen, in deren Folge es zur Ausbreitung offen ozeanischer, kühlerer Bedingungen bis weit auf die Schelfe kam. Die sich anschließende langzeitliche Abkühlung ist durch einen Temperaturrückgang in den Durchschnittswerten um $\sim 4^\circ\text{C}$ gekennzeichnet. Die Temperaturen sinken von durchschnittlichen 16–18°C (Cenomanium–Turonium) auf 11–14°C (Campanium–Maastrichtium). Die Temperaturreichweiten reflektieren nun Saisonalität, Unterschiede zwischen Boden- und Oberflächenverhältnissen und/oder Migrationseffekte. Der langzeitliche Abkühlungstrend wird von kurzzeitigen Abkühlungsereignissen begleitet. Diese sind im Oberturonium (Late Turonian Event) und im Bereich der Santon/Campan Grenze (Santonian/Campanian Boundary Event) zu verzeichnen.

Die stabilen Bedingungen sind über die Kreide/Tertiär Grenze bis in das Danium hinein zu verfolgen. Mit dem beginnenden Seelandium nehmen die $\delta^{18}\text{O}_p$ -Werte von $\sim 18\text{‰}$ auf $\sim 13\text{‰}$ im Paläozän/Eozän Grenzbereich ab. Diese Entwicklung ist das markanteste Merkmal des paläogenen Datensatzes und fällt mit dem Paläozän/Eozän Grenzereignis zusammen, einer jähren Erwärmung (Paleocene Eocene Thermal Maximum) gekoppelt an eine Kohlenstoffisotopenanomalie (Carbon Isotope Excursion). Die Magnitude der Exkursion in den Haizahn-Daten von $\sim 5\text{‰}$ zeigt eine Änderung der Sauerstoffisotopie des Wassers im Nordseebecken an, die auf einen signifikanten Einfluss isotopisch leichter Wässer zurückzuführen ist. Im Anschluss nehmen die Isotopiewerte wieder zu. Die auch im frühen Ypresium zu verzeichnenden nicht marinen Werte sprechen für einen anhaltenden, jedoch schwächeren Einfluss isotopisch leichter Wässer.

Zwischen der Sauerstoffisotopie des Wassers und der Salinität besteht rezent ein linearer Zusammenhang. Wird dieser auf die paläogenen Bedingungen in der Nordsee übertragen, lässt sich ein Rückgang der Salinität um 12 psu (practical salinity unit) und die Ausbildung einer stark stratifizierten Wassersäule mit einer ausgesüßten Wasseroberfläche ableiten.

Die Änderung der Salinität fällt mit dem Einsetzen des nordostatlantischen Flutbasalt-Vulkanismus zusammen. Dieser schränkte den Wasseraustausch zum Atlantik ein und führte zu einer Isolation des Nordseebeckens, in dem sich durch Niederschläge und Süßwasserzufluss

brackische Bedingungen und eine stratifizierte Wassersäule ausbildeten. Vom mittleren Ypresium bis in das Rupelium hinein herrschen im Nordseebecken marine Bedingungen mit $\delta^{18}\text{O}_\text{p}$ -Werten von 18,4–23,0‰ und Temperaturen von 6–26°C.

Tooth-apatite of fossil selachians: an archive for the reconstruction of paleoecology and paleoceanography of subtropical shelf seas (Upper Cretaceous–Palaeogene, NW-Europe)

ABSTRACT. During the late Cretaceous to early Paleogene the world was governed by greenhouse conditions and the northwest European region was mostly flooded by extensive epicontinental shelf seas. The sediments deposited in this shallow shelf sea provide an excellent archive for the reconstruction of paleoenvironmental conditions of the geological past. One major tool for the reconstruction of paleotemperatures is the isotopic composition of fossil biogenic or sedimentary carbonates and phosphates. The tooth apatite of sharks is precipitated in isotopic equilibrium with the ambient seawater and records the seawater temperature and isotopic composition. In addition, shark teeth are highly resistant to effects of isotopic exchange during diagenetic processes.

The oxygen isotopic composition of about 238 shark teeth from northwest Europe were analyzed spanning a time period of more than 65 million years from the late Early Cretaceous (Albian) to the early Oligocene (Rupelian). The material comprises teeth of different ecological groups of sharks: teeth of small-sized or larger bottom-dwelling sharks as well as teeth of large active swimming predators. One aim is the identification of potential differences between the taxonomic groups that affords conclusions regarding their ecology and habitat. The second aim of this study is the reconstruction of the long term temperature evolution of the northwest European shelf during late Cretaceous to Paleogene times.

In general, the data set shows highly fluctuating oxygen isotope values reflecting seasonal variations and/or migration effects. It is possible to discriminate between stationary bottom dwelling and active swimming pelagic sharks. The pelagic predators are characterised by a large scatter of $\delta^{18}\text{O}_\text{p}$ values due to their active living whereas the benthic groups reflect a distinct signal indicative for the stable and cooler conditions at the sea floor. Teeth of the families of Mitsukurinidae (large benthic) record a significantly higher oxygen isotopic composition and lower estimated temperatures compared to the other shark groups. Today the Mitsukurinidae live in the outer shelf to continental slope up to depth of 1300 metres and migrate from their deep habitats inshore without occupying this habitat for a long time. The values of the analysed teeth are indicative for an analogue behaviour in the Upper Cretaceous – a deep shelf habitat and inshore migration. A similar Cretaceous signal is recorded by the family of Odontaspidae (pelagic). The Cretaceous data indicate a cool habitat. During the Paleogene they show a high range of values indicating a wider distribution in contrast to the Mitsukurinidae. The extinct genus *Ptychodus* (benthic) recorded from the Cenomanian to Turonian shows low $\delta^{18}\text{O}_\text{p}$ values and high temperatures. This signal is potentially indicative for a shallow coastal habitat with high temperatures and/or a freshwater influence. An alternative explanation of the low $\delta^{18}\text{O}_\text{p}$ values is the differing tooth composition of *Ptychodus* probably caused by a higher sensitivity to diagenetic overprint.

Initially, the Cretaceous long-term trend shows decreasing $\delta^{18}\text{O}_\text{p}$ values reflecting a warming of the shelf from the Albian to the late Cenomanian. The Cenomanian is characterised by an unusually high range of $\delta^{18}\text{O}_\text{p}$ values from 18.5‰ to 22.7‰ (10–28°C; $\delta^{18}\text{O}_\text{w} = -1.0$ ‰). The thermal maximum and highest $\delta^{18}\text{O}_\text{p}$ variability of 4.2‰ is reached during the latest Cenomanian when shelf-sea temperatures rise up to 28°C coeval with the Cenomanian Turonian Boundary Event (CTBE) that is marked by a positive carbon isotopic

anomaly and a major oceanic anoxic event. This represents a turning point followed by continuously increasing $\delta^{18}\text{O}_p$ values and a smaller $\delta^{18}\text{O}_p$ variability of 1.7–3.0‰ during the Turonian–Maastrichtian. The highly fluctuating Cenomanian values probably are not solely explainable by seasonality and migration but also by the influence of different water masses, i.e. the alternating influx of warm Tethyan water and cooler boreal water masses. The shift from highly variable values during the Cenomanian to less fluctuating values coincides with the transition from marly to pure coccolith chalk. This is interpreted as the break of the shelf frontal system that allowed the establishment of oceanic and cool boreal conditions. An alternative scenario for the interpretation of the low $\delta^{18}\text{O}_p$ values during the Cenomanian is the influence of isotopic light freshwater. This scenario results in an overestimation of water temperatures and smaller gradients.

The Cenomanian is followed by continuously increasing $\delta^{18}\text{O}_p$ values and decreasing temperatures from the Turonian to Maastrichtian. The mean temperatures decrease by $\sim 4^\circ\text{C}$ from 16–18°C (Cenomanian–Turonian) to 11–14°C (Campanian–Maastrichtian). Now the temperature range represents seasonality (winter vs. summer), differences between bottom and surface conditions and/or migration effects. The decreasing temperatures in the northwest European shelf reflect the waning of global greenhouse conditions. The cooling trend is accompanied by short term cooling events in the late Turonian (Late Turonian Event) and the Santonian/Campanian Boundary interval (Santonian/Campanian Boundary Event).

The cool conditions continued in the Danian, followed by a decline of mean $\delta^{18}\text{O}_p$. The shift to lower $\delta^{18}\text{O}_p$ values commenced with the Selandian, the values decrease from 19‰ to 14‰ at the Paleocene/Eocene Boundary reflecting the Palaeocene/Eocene Thermal Maximum (PETM). The PETM is marked by rapid and severe global warming and a carbon isotopic anomaly. The negative shift of $\sim 5\text{‰}$ is the most prominent feature of the Paleogene data set. Such a high shift to lower, non-marine $\delta^{18}\text{O}$ values is suggestive for a massive input of isotopic light freshwater, deduced from runoff and precipitation. After the Paleocene/Eocene boundary interval the $\delta^{18}\text{O}_p$ values increase steadily. The persistent non-marine signal and the high range of values during the Early Ypresian represent ongoing but waning freshwater influence. The salinity and oxygen isotopic composition of modern North Sea water show a linear relationship. Assuming a similar slope to be valid in the Paleogene, the $\delta^{18}\text{O}$ decline would correspond to a drop of ~ 12 psu (practical salinity unit) in sea surface salinity linked to the formation of a brackish surface layer and strong water-column stratification.

The initiation of the brackish conditions during the latest Paleocene coincides with the onset of the North Atlantic flood basalt volcanism and indicates the isolation of the North Sea basin. From the middle Ypresian to the Rupelian the North Sea Basin is governed by marine conditions with $\delta^{18}\text{O}_p$ values from 18.4‰ to 23.0‰ and temperatures of 6–26°C.