



AFBEELDING 1. | De voor het Krijt karakteristieke witte krijtrotsen bij Dover.
Foto: Archangel12. Vrij van copyright volgens Creative Commons,
Attribution 2.0.

Ijstijden tijdens een overwegend broeikas klimaat?

A.J. (TOM) VAN LOON
VALLE DEL PORTET 17, 03726
BENITACHELL, SPANJE
GEOCOM.VANLOON@GMAIL.COM

In de huidige discussie over klimaatverandering is het goed te beseffen dat het vroeger vaak veel warmer is geweest dan nu. Onder meer het Krijt staat zelfs bekend als een periode met een (broeikas)klimaat. In de warme zee konden onder meer de beroemde Krijtafzettingen worden gevormd (Afb. 1). Maar ook toen waren er grote klimaatschommelingen. Onderzoek wijst zelfs op ijstijden, met bijbehorende schommelingen van het zeeniveau. Maar net als bij de huidige klimaatdiscussie is er nog veel onduidelijk.



Inleiding

In het Krijt was het klimaat veel warmer dan nu. Dat blijkt onder meer uit fossielen die aangeven dat op Antarctica soms zelfs een weelderige vegetatie bestond (Afb. 2). Het idee dat het Krijt een broeikasklimaat had is vooral gebaseerd op de uitkomsten van onderzoek meer dan honderd jaar geleden. Die eerste bevindingen werden lang door velen als vaststaand beschouwd, en ook nu bestaat dat beeld nog bij velen. Toch zijn er al in de laatste decennia tal van aanwijzingen gevonden dat er ook langdurige koudere fases moeten zijn opgetreden, en mogelijk zelfs ijstijden (o.a. door Ray *et al.*, 2019). Zo zijn er aanwijzingen gevonden dat er dinosauriers leefden in de poolstreken in tijden dat er sneeuw lag (Afb. 3). Dat betekent dat er tijdens het Krijt grote klimaatveranderingen moeten hebben plaatsgevonden.

De sterkste aanwijzingen daarvoor betreffen reconstructies van de schommelingen in het zeeniveau (Miller *et al.*, 2005; Kominz *et al.*, 2008) want grote veranderingen in het zeeniveau worden, naar nu algemeen wordt aangenomen (Sames *et al.*, 2016), vooral bepaald door de hoeveelheid landijs op aarde, en dus door het klimaat. Analyses van dergelijke zogeheten eustatische fluctuaties van het zeeniveau zijn ook uitgevoerd om na te gaan of er ook vergelijkbare koude fases of zelfs ijstijden zijn opgetreden in het als eveneens warm beschouwde Trias (Price, 1999; Franz *et al.*, 2015) en de Jura (Dromart *et al.*, 2003).

Eustatische zeespiegelschommelingen in het Krijt

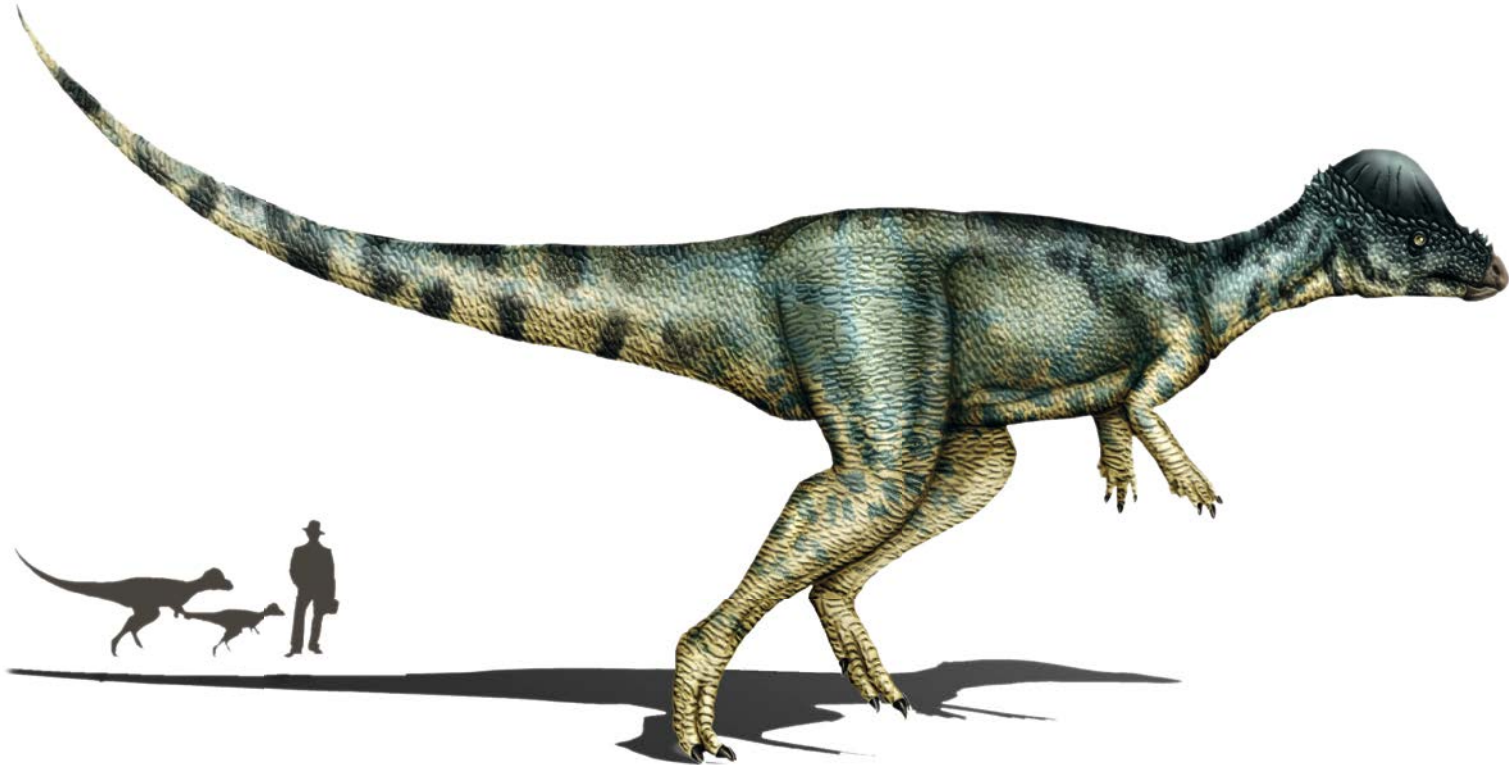
Ray *et al.* (2019) onderscheiden vier tijdspannes in het Krijt waarin de zeespiegel daalde, waarschijnlijk ten gevolge van de vorming van ijskappen (eind Berriasien tot vroegste Hauterivien, Aptien, Albien en Maastrichtien; Afb. 4). Daarnaast interpreteren ze ook twee tijdspannes met stijgende zeespiegel, waarschijnlijk door smeltende ijskappen (Berriasien and Turonien-Coniacien). Ze baseren deze interpretaties op uiteenlopende geologische verschijnselen, zoals de

verspreiding van glaciële afzettingen op land (keileem) en in zee (dropstones: van smeltende ijsbergen afkomstige stenen in zee of meren), het voorkomen van glendonieten (concreties van het vooral in bijna bevroren water gevormde mineraal ikaïet, $\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, of van carbonaten als pseudomorfen van ikaïet; Afb. 5) en isotopenverhoudingen in diverse sedimenten. Een zwak punt in hun interpretaties is echter dat ze geen aandacht besteden aan het feit dat bij een sterk dalende zeespiegel op het (droogvallende) land hiaten moeten optreden in de sedimentaire opeenvolging.

Dit aspect kreeg aandacht van Zorina *et al.* (2008), die veel stratigrafische gegevens uit tal van gebieden in de hele wereld analyseerden, en die tot de conclusie kwamen dat er vier concentraties (in tijd) van sedimentaire hiaten gedurende het Krijt voorkomen. Die blijken echter slechts voor het Maastrichtien samen te vallen met de dalende zeespiegels van Ray *et al.* (2019). Voor het Aptien vonden ze zelfs helemaal geen wereldwijde hiaten.



AFBEELDING 2. | Reconstructie of basis van fossielen, geochemische en sedimentologische gegevens uit boorkernen (boring PS104_20-2) van het gematigde regenwoud op westelijk Antarctica gedurende het Midden-Krijt. Illustratie: J. McKay (Afrod-Wegener-Institut). Vrij van copyright volgens CC-BY-40.



AFBEELDING 3. | Alaskacephale gangloffii, een dinosauriër die tijdens het Laat-Campanien leefde in een sneeuwrijk gebied in het huidige Alaska. illustratie: Karkemish. Vrij van copyright volgens Creative Commons, Attribution 3.0.

Voor deze discrepantie in de bevindingen van Zorina *et al.* (2008) en Ray *et al.* (2019) is overigens wel een verklaring mogelijk: regionale tektoniek kan immers de werkelijke zeespiegelbewegingen verbloemen (Conrad, 2013). Dit blijkt onder meer uit een studie van Müller *et al.* (2008), die voor het Berriasien-Valanginien een duidelijke laagstand van het zee-niveau vonden.

Era	Period	Epoch	Stage Age
Mesozoic	Cretaceous	Late	Maastrichtian
			Campanian
			Santonian
			Coniacian
			Turonian
			Cenomanian
		Early	Albian
			Aptian
			Barremian
			Hauterivian
			Valanginian
			Berriasian

AFBEELDING 4. | Tijdschaal van het Krijt. Bron: International Commission on Stratigraphy. Vrij van copyright.

Voortdurende discussie

De hypothese dat er in het Krijt ijstijden (met bijbehorende eustatische zeespiegelschommelingen) zijn opgetreden, heeft vanaf het begin geleid tot verhitte discussies. Die duren nog steeds voort en betreffen elk van de aangevoerde argumenten zoals de aanwezigheid van dropstones (Frakes *et al.*, 1995). Haq (2014) voert bovendien aan dat zeespiegelschommelingen niet door het klimaat hoeven te worden verklaard, maar dat ook regionale factoren kunnen meespelen. In de discussie staat elk van de gepostuleerde ijstijden in het Krijt ter discussie. Zo postuleerden McArthur *et al.* (2007) een mogelijke ijstijd van het laat-Berriasien tot het vroeg-Hauterivien, maar Boulila *et al.* (2015) voerden argumenten aan waarom er toen geen sprake van een ijstijd kan zijn geweest. Tal van onderzoekers (o.a. Miller *et al.*, 2005) postuleerden op basis van sterke argumenten een ijstijd in het begin van het Laat-Krijt, direct na het Cenomanien, maar Huber *et al.* (2018) argumenteerden dat alleen in het Maastrichtien een ijstijd gedurende het Laat-Krijt kan zijn opgetreden, wat overeenkomt met het idee van Ray *et al.* (2019). Zo worden alle argumenten voor en tegen ijstijden in het Krijt nog steeds bediscussieerd. Het voert echter te ver om al die argumenten hier in detail te behandelen.

Veel vragen

Ondanks de vele, vaak uitgebreide, onderzoeken die inmiddels hebben plaatsgevonden, blijven de gepostuleerde ijstijden gedurende het Krijt dus nog steeds talrijke vragen oproepen. De belangrijkste vragen lijken: (1) kan regionale activiteit verklaren waarom vastgestelde (schijnbare) zeespiegelschommelingen niet gecorreleerd kunnen worden met wereldwijde sedimentaire hiaten? (2) hoe kan dit gebrek aan correlatie worden verklaard voor gebieden waar geen (herkende) tectonische activiteit plaatsvond? (3) hoe kan worden verklaard dat de grote zeespiegelschommelingen die Ray *et al.* (2019) vaststelden voor het Valanginien in tegenspraak zijn met de bevindingen van Littler *et al.* (2011) en Boulila *et al.* (2015)? en (4) is het mogelijk dat de reconstructies van Miller *et al.* (2005) correct waren, hoewel Ray *et al.* (2019) een Cenomanien zeespiegeldaling mogelijk (hoewel niet waarschijnlijk) noemen, en hoe kan dit worden gerijmd met de bevindingen van Huber *et al.* (2018) en andere critici van een Cenomanien ijstijd?

Conclusies

Hoewel er veel argumenten zijn aangedragen voor het optreden van koude fases en zelfs ijstijden in het Krijt, wordt de juistheid van deze argumenten – vooral





AFBEELDING 5. | *Glendoniet, een pseudomorf van calciet naar ikaiet. Neogeen van het Kola Schiereiland. Foto: James St. John. Vrij van copyright volgens Creative Commons Attribution 2.0.*

door aanhangers van de 'klassieke' broeikasstheorie (bijv. Huber *et al.*, 2018) – voor deze periode ontkend. Dit komt mede doordat de aanwijzingen voor temperatuurfuctuaties en zeespiegelschommelingen vaak met elkaar in strijd lijken. Dat is mede een gevolg van de complexe relatie die deze twee verschijnselen hebben. Zolang de discussie over de huidige klimaatveranderingen en de daarbij behorende gevolgen voortduren bij gebrek aan onweerlegbare bewijzen, zal ook de discussie over het klimaat in het Krijt voortduren. Eén ding staat echter vast: het klimaat veranderde in het Krijt, net als nu, voortdurend; de vraag is alleen: hoe snel en hoe sterk?

REFERENTIES

Boulila, S., Charbonnier, G., Galbrun, B. & Gardin, S., 2015. *Climatic precession is the main driver of Early Cretaceous sedimentation in the Vocontian Basin (France): Evidence from the Valanginian Orpierre succession. Sedimentary Geology* 324, 1-11.

Conrad, C.P., 2013. *The solid earth's influence on sea level. Bulletin of the Geological Society of America* 125, 1027-1052.

Frakes, L.A., Alley, N.F. & Deynoux, M., 1995. *Early Cretaceous ice rafting and climate zonation in Australia, International Geology Review* 37, 567-583.

Dromart, G., Garcia, J.-P., Picard, S., Atrops, F., Lecuyer, C. & Sheppard, S.M.F., 2003. *Ice age at the Middle-Late Jurassic*

transition? Earth and Planetary Science Letters 213, 205-220.

Franz, M., Kaiser, S.I., Fischer, J., Heunisch, C., Kustatscher, E., Luppold, F.W., Berner, U. & Rohling, H.-G., 2015. *Eustatic and climatic control on the Upper Muschelkalk Sea (late Anisian/Ladinian) in the Central European Basin. Global and Planetary Change* 135, 1-27.

Haq, B.U., 2014. *Cretaceous eustasy revisited. Global and Planetary Change* 113, 44-58.

Huber, B.T., MacLeod, K.G., Watkins, D.K. & Coffin, M.F., 2018. *The rise and fall of the Cretaceous Hot Greenhouse climate. Global and Planetary Change* 167, 1-23.

Kominz, M.A., Browning, J.V., Miller, K.G., Sugarman, P.J., Mizintseva, S. & Scotese, C.R., 2008. *Late Cretaceous to Miocene sea-level estimates from the New Jersey*

and Delaware coastal plain boreholes: an error analysis. Basin Research 20, 211-226.

Littler, K., Robinson, S.A., Bown, P.R., Nederbragt, A.J. & Pancost, R.D., 2011. *High sea-surface temperatures during the Early Cretaceous Epoch. Nature Geoscience* 4, 169-172.

Maurer, F., Van Buchem, F.S.P., Eberli, G.P., Pierson, B.J., Raven, M. J., Larsen, P.-H., Al-Husseini, M.I. & Vincent, B., 2013. *Late Aptian long-lived glacio-eustatic lowstand recorded on the Arabian Plate. Terra Nova* 25, 87-94.

McArthur, J.M., Janssen, N.M.M., Reboulet, S., Leng, M.J., Thirwall, M.F. & Van de Schootbrugge, B., 2007. *Palaeotemperatures, polar ice-volume, and isotope stratigraphy (Mg/Ca, $\delta^{18}O$, $\delta^{13}C$, $87Sr/86Sr$): The Early Cretaceous (Berriasian, Valanginian, Hauterivian). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 248, 391-430.

Miller, K.G., Kominz, M.A., Browning, J.V., Wright, J.D., Mountain, G.S., Katz, M.E., Sugarman, P.J., Cramer, B.S., Christie-Blick, N. & Pekar, S.F., 2005. *The Phanerozoic record of global sea-level change. Science* 310, 1293-1298.

Müller, R.D., Sdrolias, M., Gaina, C., Steinberger, B. & Heine, C., 2008. *Long-Term Sea-Level Fluctuations Driven by Ocean Basin Dynamics. Science* 319, 1357-1362.

Price, G.D., 1999. *The evidence and implications of polar-ice during the Mesozoic. Earth-Science Reviews* 48, 183-210.

Ray, D.C., Van Buchem, F.S.P., Baines, G., Davies, A., Gréselle, B., Simmon, M.D. & Robson, C., 2019. *The magnitude and cause of short-term eustatic Cretaceous sea-level change: A synthesis. Earth-Science Reviews* 197, 102901.

Sames, B., Wagreich, M., Wendler, J.E., Haq, B.U., Conrad, C.P., Melinte-Dobrinescu, C.E., Hu, X., Wendler, I., Wolfgring, E., Yilmaz, I.Ö. & Zorina, S.O., 2016. *Review: Short-term sea-level changes in a greenhouse world — A view from the Cretaceous. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 441, 393-411.

Zorina, S.O., Dzyuba, O.S., Shurygan, B.N. & Ruban, D.A., 2008. *How global are the Jurassic-Cretaceous unconformities? Terra Nova* 20, 341-246.

