



De auteur bezig met hoogtemetingen in de badlands van de Murray Ranch in Oost-Montana (foto: Klaudia Kuiper).

Geologische mysteries van *T. rex* ontrafeld

Deel 2: Eerste resultaten van de Murray Ranch

PIM KASKES
MASTER STUDENT GEOLOGIE
VRIJE UNIVERSITEIT, AMSTERDAM
PIM.KASKES@GMAIL.COM

In het vorige nummer van Grondboor & Hamer heb ik de lezer meegenomen naar het Wilde Westen van Amerika en heb ik de ruige historie van Montana's *badlands* en de ontdekking van *Tyrannosaurus rex* beschreven.

In Augustus 2013 heeft Naturalis Biodiversity Center een prachtig bewaard en zeer compleet skelet van deze vleesetende dinosauriër opgegraven en dit fossiel zal vanaf september dit jaar in het Leidse natuurhistorisch museum te zien zijn. De botresten geven aan dat het waarschijnlijk een dame op leeftijd betreft van zo'n 12 meter lang die veel heeft meegemaakt tijdens haar leven. In het kader van mijn afstudeerscriptie aan de Vrije Universiteit (VU) in Amsterdam ben ik een jaar na de opgraving afgereisd naar de Murray Ranch in Oost-Montana om de geologische context van deze *T. rex* letterlijk onder de loep te nemen.

In dit tweede deel zal ik ingaan op de eerste resultaten van mijn onderzoek. Hoe is deze *T. rex* zo goed bewaard gebleven al die miljoenen jaren? Wanneer leefde ze precies? En hoe zag haar leefomgeving er eigenlijk uit? De fossielrijke gesteentelagen van de Hell Creek Formatie vertellen het antwoord.



Trenchen in de badlands

Mijn eerste onderzoeksvraag omvat de tafonomie, oftewel wat is er precies gebeurd nadat de *Tyrannosaurus rex* van Naturalis stierf en wat voor effect heeft dat gehad op de fossilisatie en preservatie van het skelet? Om dit vraagstuk op te lossen ben ik teruggekeerd naar de plek van de opgraving op het privéland van Lige en Mary-Ann Murray in Oost-Montana (zie voor de exacte locatie Afb. 1 van Deel 1). De gehele procedure vanaf het graven van sleuven in het veld tot en met het meten van de verzamelde sedimentmonsters in het lab, staat weergegeven in Afbeelding 1.

Allereerst heb ik op de vindplek met pikhouweel en schop een aantal sleuven, *trenches* genaamd, gegraven om vers, onverweerd gesteentemateriaal te kunnen beschrijven (1A). Verder heb ik samen met mijn begeleider Jan Smit een lakprofiel gemaakt ter hoogte van het heupblok van de *T. rex*. Een lakprofiel is een kleine doorsnede van de ondergrond en bestaat in dit geval uit vastgeplakt zand en klei op een houten plaat (1B). Dit profiel zal naar Nederland verscheept worden om tentoongesteld te worden in een nieuwe expositie in Naturalis (Afb. 2). Daarnaast hebben we met behulp van een maatstaf zeer nauwkeurig de stratigrafische hoogte van de sleuven ingemeten (1C) en zijn de gesteentelagen vervolgens in groot detail beschreven en bemonsterd (1D).

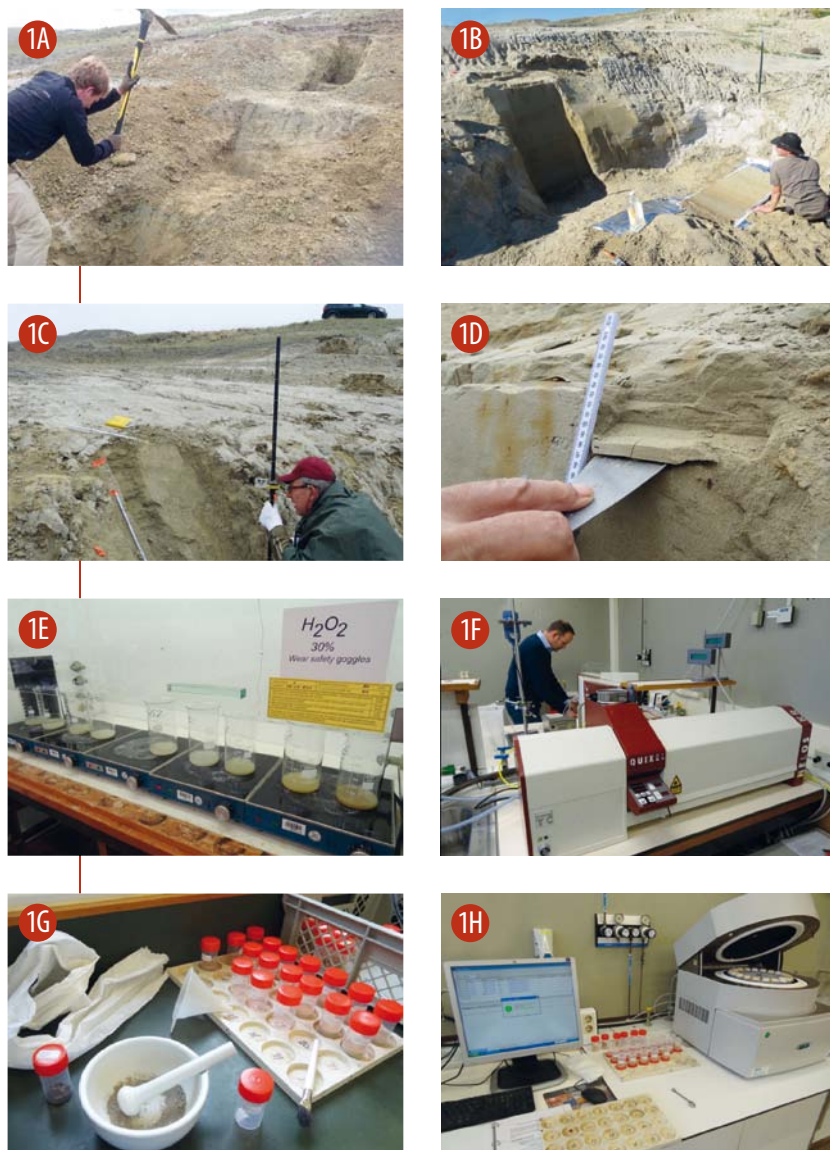
Terug in Nederland, zijn de Amerikaanse bodemonsters in het Sediment Analyse Laboratorium op de VU geanalyseerd op korrelgrootte samenstelling en heb ik het organisch koolstof en kalkgehalte gemeten. Allereerst werden de monsters behandeld met waterstofperoxide en zoutzuur (1E) om het organisch en kalkmateriaal op te lossen om ze vervolgens in de HELOS Laser Diffractie machine te meten. Dit apparaat gebruikt een laser om de korrelgrootteverdeling en daarmee het percentage klei, silt en zand van ieder opgelost monster te bepalen (1F). Een andere techniek doet juist het tegenovergestelde en meet het organisch en kalkpercentage door een gesteentemonster eerst te vermalen (1G) en vervolgens in de TGA (Thermogravimetrie Analyse) machine te plaatsen. Dit apparaat is als het

ware een gecombineerde oven en weegschaal en meet het gewichtsverlies per verhittingsstap (van kamertemperatuur tot 1000 °C), wat een maat is voor het organisch en carbonaatgehalte (1H).

Een lakprofiel boordevol aanwijzingen

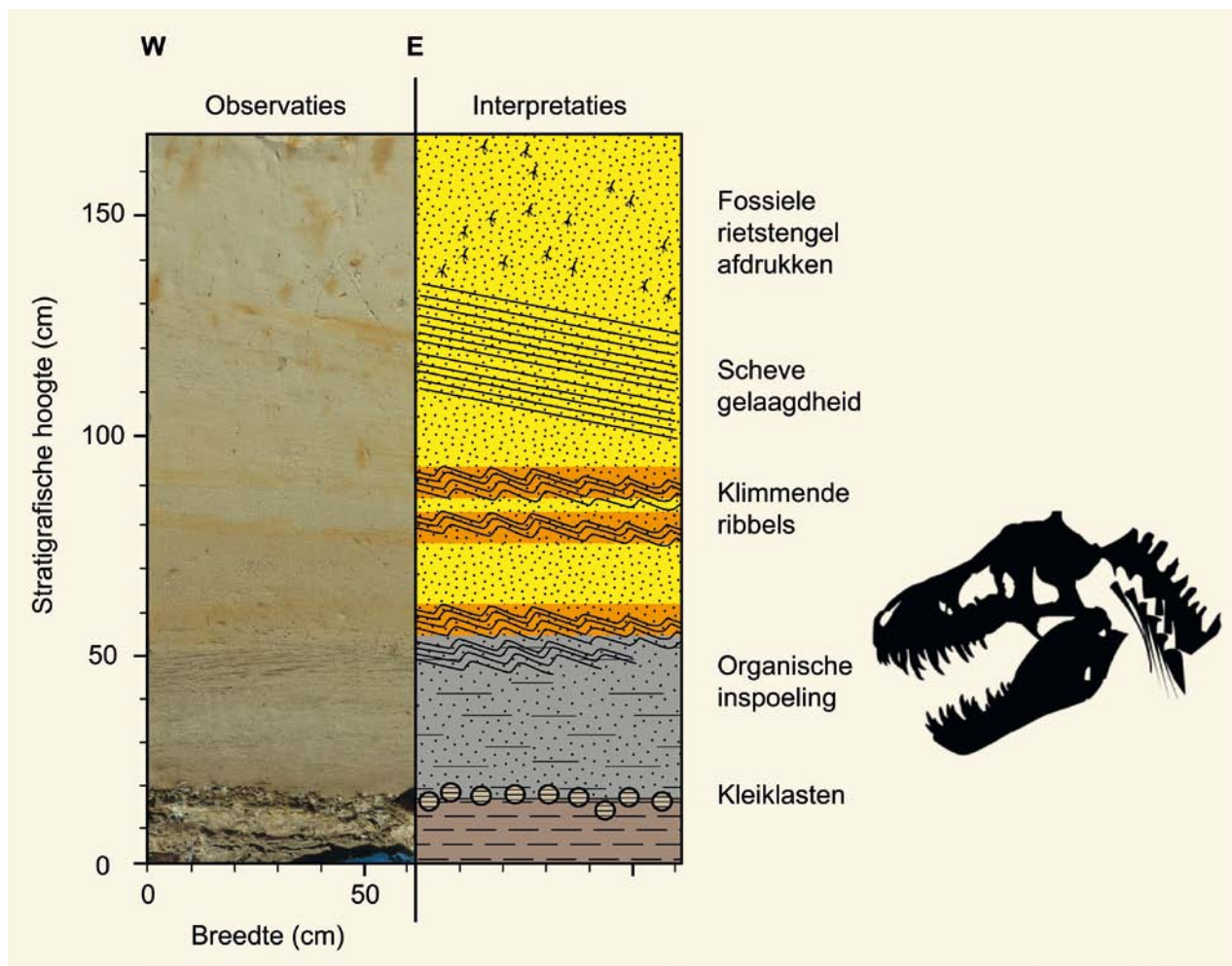
Het lakprofiel was verrassend goed gelukt voor een aardlaag van Krijt-ouderdom, met dank aan de uiterst losse structuur van de zandsteen en de visceuze lijm die we mochten lenen van het Black Hills Institute uit Hill City, South Dakota. Dit is het instituut dat meehielp met de opgraving in 2013 en nu ook de preparatie van de *T. rex*-botten verricht. Allerlei sedimentaire structuren zijn waarneembaar op het lakprofiel (Afb. 2). Onderaan is een kleilaag zichtbaar die een scherp, erosief contact laat zien met het dikke zandpakket daarboven. Het grensvlak wordt gekenmerkt door *clay pebbles of rip-up clasts*. Dit zijn balletjes van klei die zijn weggeslagen uit de onderliggende laag en door wervelingen onderwater zijn afgerond. Ook de structuren daarboven, zoals inspoelingslagen met organisch materiaal uit het Krijt, klimmende ribbels in de bruine niveaus en uiteindelijk grote scheve gelaagdheid, duiden allen op invloed van stromend water onder hoog energetische condities en met een stroomrichting naar het oosten.

Naast de sedimentaire structuren biedt ook de data uit het Sedimentologie Lab waardevolle informatie als een benadering voor het afzettingsmilieu en de stroomsnelheid ten tijde van de *Tyrannosaurus rex*.



AFBEELDING 1. | Een overzicht van de veld- en labtechnieken toegepast in dit onderzoek. Zie de tekst voor uitleg bij iedere stap. Foto's: Pim Kaskes en Jan Smit.





AFBEELDING 2. | Foto en tekening van het lakprofiel dat is gemaakt op de opgravingslocatie van het heupblok van de *T. rex*. De geïnterpreteerde sedimentaire structuren staan aangegeven en wijzen op de aanwezigheid van snelstromend water ten tijde van bedekking van het skelet (Kaskes, 2016). Dit lakprofiel zal ook te zien zijn in een nieuwe dinosaurus tentoonstelling in Naturalis.

In Afbeelding 3 staan de belangrijkste geochemische en sedimentologische resultaten van de 6 meter lange sectie van de opgravingslocatie uiteengezet. In Afb. 3A zijn de stratigrafische sectie, de aanwezige sedimentaire structuren en de stratigrafische positie van het lakprofiel zichtbaar. De data uit de Thermogravimetrie machine (Afb. 1H) laten een hoge kalkwaarde zien in het zandniveau van de *T. rex* in tegenstelling tot de onder- en bovenliggende lagen die juist rijk zijn aan organisch materiaal (3B).

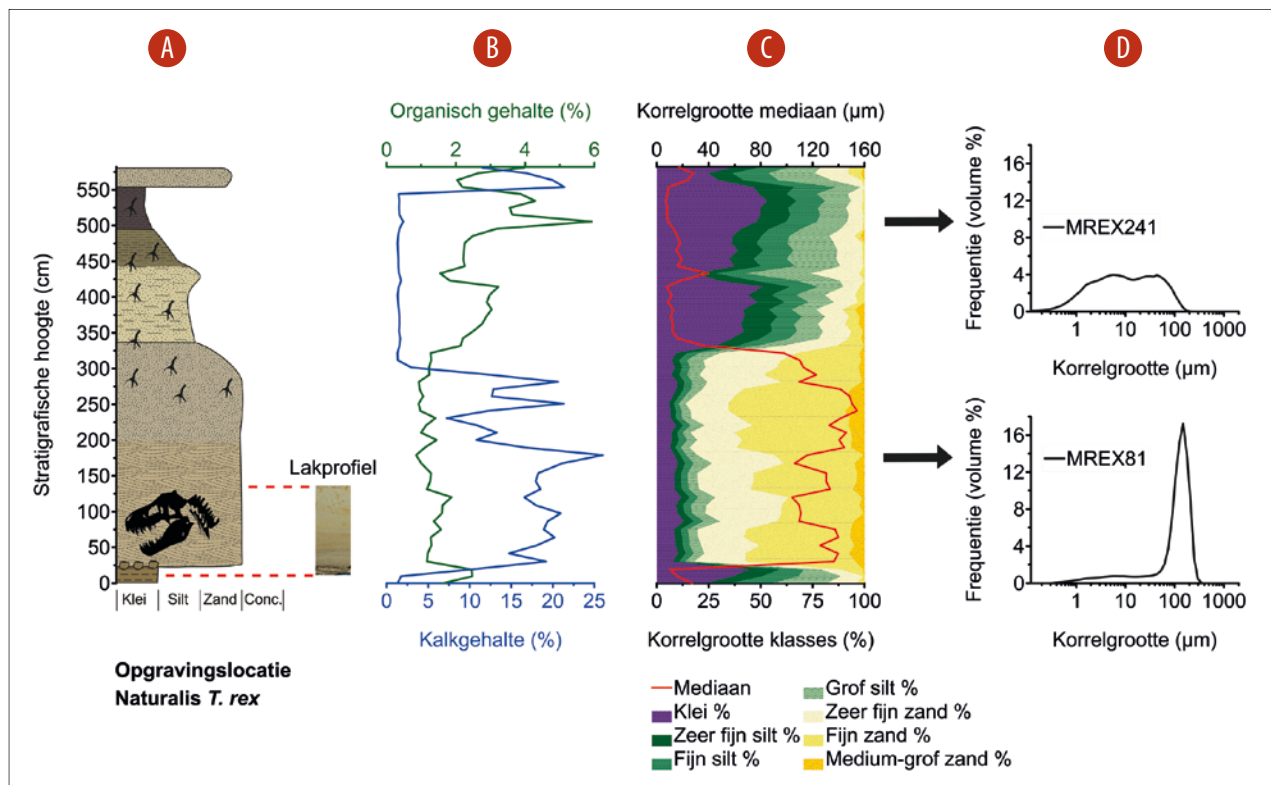
Detectivewerk met zandkorrels

De *T. rex*-zandsteen heeft nog meer opvallende kenmerken. De gemiddelde korrelgrootte en verschillende grootte-classes (3C) laten aan de basis van de sectie een scherpe overgang zien van een kleipakket naar een zandniveau van ongeveer 3 meter dik dat vervolgens weer geleidelijk overgaat in een interval gedomineerd door silt en klei. Bodemonsters bestaan ieder uit korrelgrootteverdelingen waarbij de grootte van de korrels (in micrometer, μm) op de horizontale, logaritmische as staat en de volume-frequentie (als maat voor hoeveel korrels er van een bepaalde grootte zijn) op de verticale as.

In Afbeelding 3D heb ik twee kenmerkende monsters van de vindplaats uitgepikt met een duidelijk verschillende korrelgrootteverdeling. Monster MREX241 (op ca. 5 meter stratigrafische hoogte) laat een brede klei en siltverdeling zien, karakteristiek voor een uiterwaarden-afzetting en een lage stroomsnelheid. Daaronder heb ik monster MREX81 (op ca. 1,7 meter stratigrafische hoogte) weergegeven, die midden uit het zandpakket komt. MREX81 laat een hoge frequentie zien bij een korrelgroottebereik van tussen de 80 en 250 micrometer.

En wat blijkt? Alle monsters tussen de 0,2 en 3,4 meter laten deze kenmerkende fijne zand piek zien! Afbeelding 3D geeft hiermee dus aan dat de *T. rex*-zandsteen niet zomaar een zandsteen is, maar een zeer homogeen, fijn zandpakket met een uiterst goede sortering. Gecombineerd met het ontbreken van silt en kleilaagjes in het zandniveau is dit voor mij een indicatie dat we te maken hebben met een enkele, grootschalige overstroming die het *T. rex*-karkas razend-snel heeft bedekt.

Concluderend kunnen we zeggen dat de reden waarom de Naturalis *T. rex* misschien wel het best bewaarde *T. rex*-exemplaar is dat ooit gevonden is, ligt opgeslagen in de eigenschappen van de Hell Creek zandsteen (Kaskes, 2016). De sedimentaire structuren op het lakprofiel (Afb. 2), de verspreiding van de botten over een groot



AFBEELDING 3. | Overzicht van de geochemische en sedimentologische data van de opgravingslocatie van de *Naturalis T. rex*. Zie de tekst voor uitgebreide uitleg bij de grafieken. Bron: Kaskes, 2016 en referenties hierin.

oppervlak (Afb. 5 van Deel 1 - G&H nr.1 2016 p.24) en de goede sortering van het fijne zand (Afb. 3D) wijzen er allemaal op dat het skelet heel snel begraven is met een ruim 3 meter dikke laag zand, afgezet in één overstromingsgebeurtenis. Hoe snel dit is gebeurd is moeilijk te achterhalen, maar waarschijnlijk in de orde van uren tot dagen. Een mogelijk scenario zou dus een flinke overstroming kunnen zijn die na een hevige onweersbui grote hoeveelheden zand en water in een voormalig droge riviergeul heeft getransporteerd en het (door aaseters waarschijnlijk al aangevreten) *T. rex*-karkas heeft mee-geleurd en bedolven. Vervolgens zijn de botten goed gefossiliseerd doordat het zand ook zeer kalkrijk is en die het skelet vermoedelijk beschermd hebben tegen latere chemische aantasting door bodemzuren. Tenslotte heeft zandsteen de eigenschap dat het niet gemakkelijk samendrukt en dat heeft eraan bijgedragen dat de botten perfect driedimensionaal bewaard zijn gebleven met de nog originele vorm intact.

Hoe deze *T. rex* precies om het leven is gekomen is een vraag die de paleontologen kunnen beantwoorden

zodra de botten zijn geprepareerd door het Black Hills Institute en in Nederland zijn gearriveerd. Dan is het namelijk mogelijk om de botbeschadigingen onder de loop te nemen en gecombineerd met het geologische detectiewerk willen we daarna zo gedetailleerd mogelijk reconstrueren hoe Miss Rex aan haar einde kwam en wat er is gebeurd nadat ze stierf.

Dateren in versteende rivieren

Wannéer het bovenstaande allemaal heeft plaatsgevonden is een volgende belangrijke vraag. Hoeveel miljoenen jaren geleden leefde deze *T. rex* eigenlijk? Helaas is het niet mogelijk om de dinosaurusbotten zelf te dateren gezien de enorme ouderdom, dus moesten we ons focussen op de eigenschappen van de omliggende gesteentelagen. Het was zaak om niet alleen de opgravingsplek zelf te bestuderen maar ook de wijde omtrek uit te kammen, onderwijl talloze ratelslangen ontwijkend om bij de schaarse ontsluitingen te komen. Het doel was namelijk om een regionaal, geologisch tijds kader te maken, maar hier zitten wel een flink aantal haken en ogen aan.

De Hell Creek Formatie is in Montana ongeveer 100 meter dik en ligt nagenoeg horizontaal wat tot gevolg heeft dat de insnijdingen in het landschap vaak niet diep genoeg zijn om de gehele formatie bloot te leggen. Daarnaast zijn de rivierafzettingen van de Hell Creek lensvormig en daarom niet goed lateraal te vervolgen. Ook bestaan er grote verschillen in sedimentatiesnelheid tussen bijv. zandniveaus en kleilagen. Hoe bepaal je dan zo accuraat mogelijk de ouderdom van deze continentale gesteentelagen? Dat zou in theorie kunnen met absolute dateringen, bijvoorbeeld aan vulkanisch materiaal. Deze technieken zijn echter zeer moeilijk uitvoerbaar in deze afzettingen, omdat vulkanisch materiaal alleen gepreserveerd blijft in koollagen en deze zijn in de Hell Creek Formatie uiterst zeldzaam.

Relatieve dateringstechnieken zoals magnetostratigrafie, die gebaseerd is op de onregelmatige ompoling van het aardmagnetisch veld door de tijd heen, zijn wel mogelijk door kernen te boren in kleirijke sedimenten. De eerste data gemeten in het Fort Hoofddijk, het Paleomagnetisch Lab van de Universiteit Utrecht, laten zien dat de *Naturalis T. rex* geleefd heeft in het Maastrichtien



(Boven Krijt). Op dit moment kunnen we zeggen dat de *T. rex*-aardlagen ouder zijn dan 66,4 miljoen jaar (LeCain *et al.*, 2014). Op basis van biostratigrafie kunnen we de ondergrens mogelijk afbakenen tot c. 67,2 miljoen jaar oud, aangezien ik in twee andere secties fossiel stuifmeel van de soort *Aquilapollenites collaris* (Afb. 5) ben tegengekomen, een bloeiende plant die kenmerkend is voor de Midden tot Boven Hell Creek Formatie (Nichols, 2002).

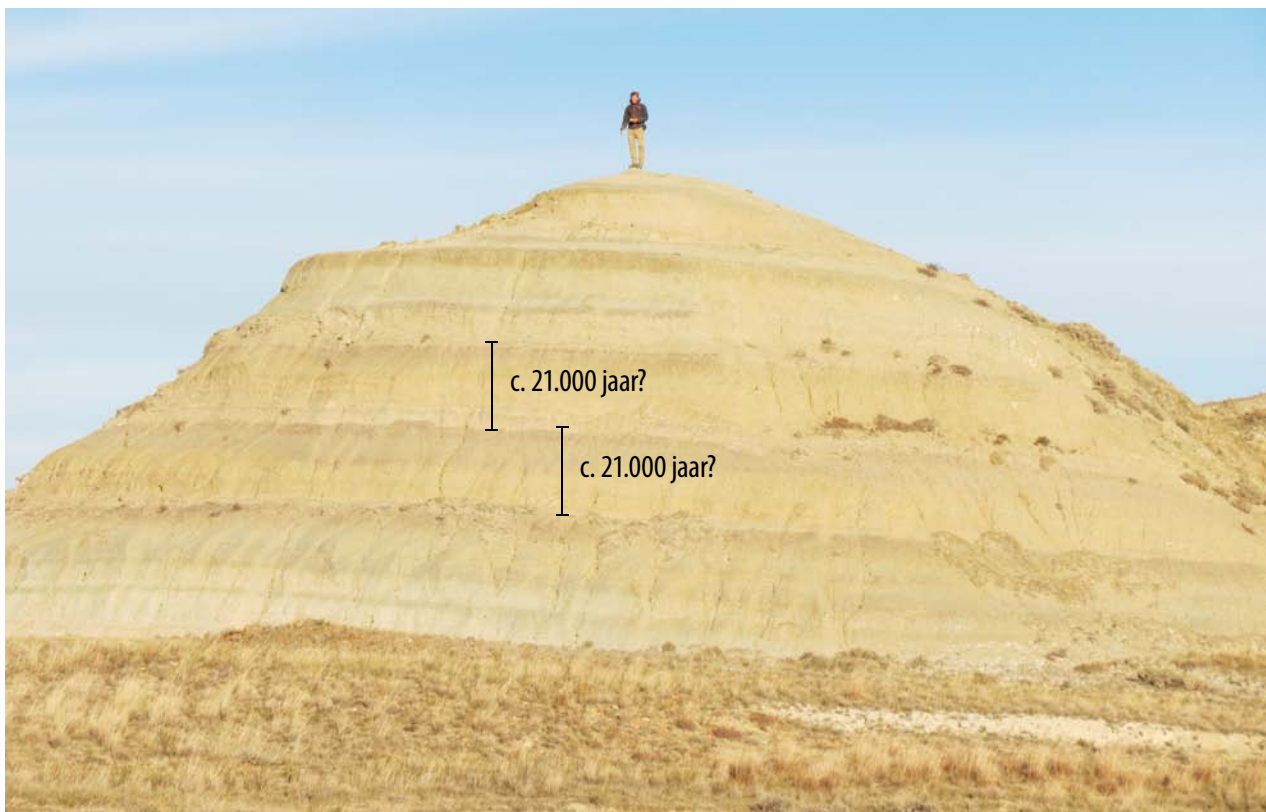
Een techniek die de laatste jaren ook in secties met fossiele rivierafzettingen steeds meer wordt toegepast staat bekend als cyclostratigrafie. Hierbij wordt er uitgegaan van de Milankovitch theorie, namelijk dat het klimaat op Aarde sterk bepaald wordt door de afstand en positie van de Aarde ten opzichte van de zon. Dit kunnen we in sedimentaire gesteenten terugvinden als een regelmatige afwisseling van bepaalde gesteentetypen (Hilgen *et al.*, 2015). In het veld hebben we dit ook waargenomen bij een sectie die we niet voor niets 'Cyclic Butte' noemden: ritmisch uitzienende afwisselingen tussen gele zanden, olijfgroene silt niveaus die geleidelijk overgaan in bruine, organisch rijke kleilagen die op hun beurt weer scherp worden afgesneden door een geelgekleurde zandsteen (Afb. 4), waarmee de cyclus weer opnieuw begint. In de Milankovitch theorie kan dit overeenkomen met een cyclus van ongeveer 21.000 jaar. We hebben echter meer informatie nodig om de ouderdom van de Naturalis *T. rex* nauwkeuriger te bepalen en daarom staat een nieuw bezoek aan de Murray Ranch wat mij betreft zeker in de planning!

Het verloren regenwoud

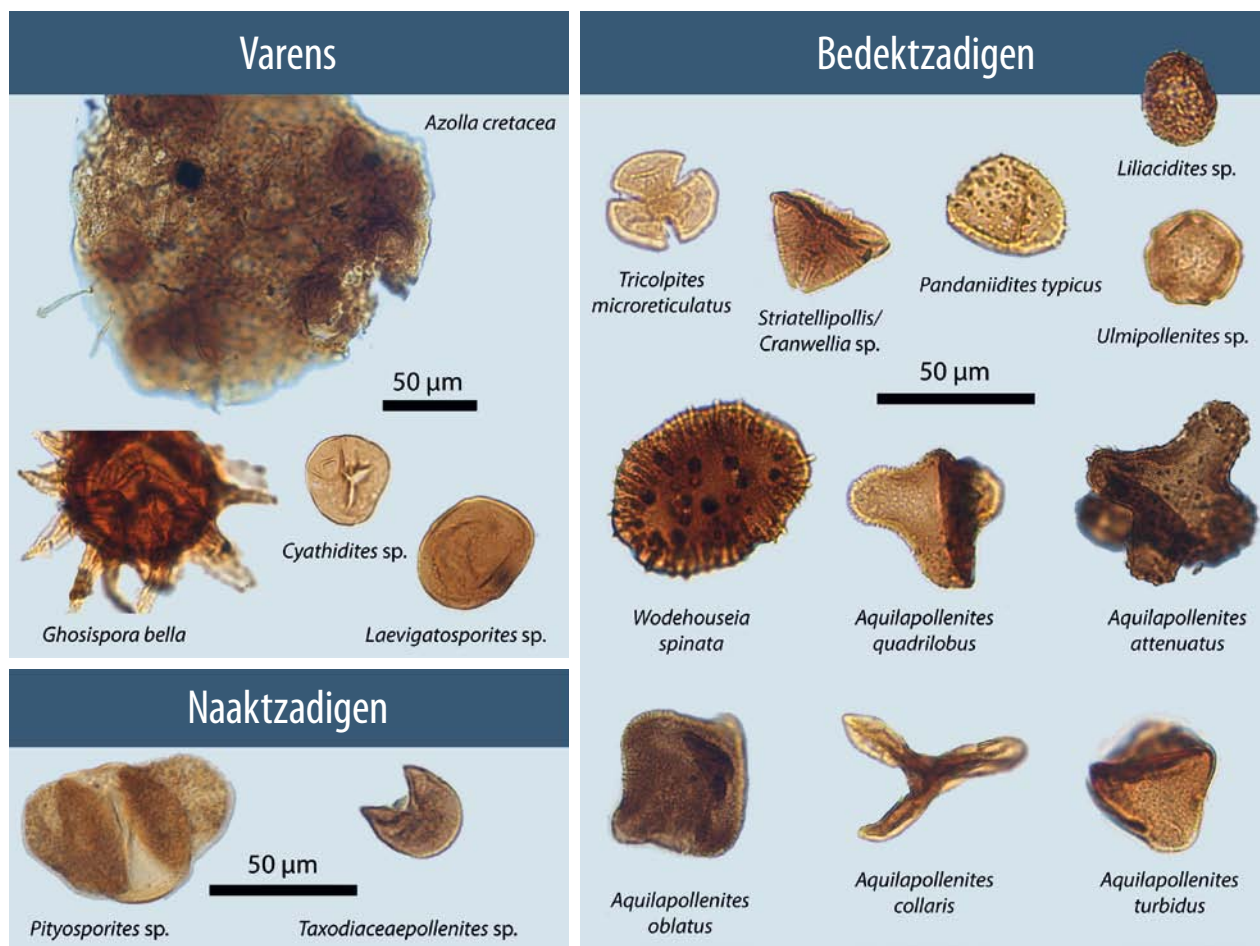
Hoe zag het landschap eruit ten tijde dat de Naturalis *T. rex* er rondstruinde? Het nogal droge prairieland van Montana vandaag de dag zag er ongeveer 67 miljoen jaar geleden een stuk natter uit en directe aanwijzingen hiervoor komen van onder de microscoop vandaan. Ik heb een aantal preparaten van fossiele stuifmeelkorrels (pollen) gemaakt en de goed gepreserveerde pollen en sporen geteld en onderverdeeld in drie hoofdgroepen: varens, naaktzadigen (o.a. naaldbomen) en bedektzadigen (bloeiende planten) (Afb. 5). Opvallend is de alomtegenwoordige aanwezigheid van *Azolla* sp., een watervaren die verwant

is aan hedendaags kroos, wat een zeer fraaie indicatie is voor stilstaand, zoet water. Verder heb ik relatief weinig naaktzadigen aangetroffen en vooral veel diverse soorten bloeiende planten, waaronder lelies (*Liliacidites* sp.) en palmboomachtigen zoals *Pandaniidites typicus* (Afb. 5).

Deze samenstelling van pollen duidt op een hoge biodiversiteit en geeft ons een kijkje in een subtropisch regenwoud van weleer. Een hedendaagse analoog zou de regio rond de Fitzroy River in Noordwest-Australië kunnen zijn (Rigby & Rigby, 1990), waar vandaag de dag een sterk moesson-klimaat heerst. Deze meanderende rivier wordt begrensd door een dicht subtropisch bos, maar achter de rivier vinden we juist open, moerasachtige uiterwaarden. Tijdens de droge tijd van het jaar staat het water in de rivier deels laag, maar kunnen bepaalde soorten als krokodillen en schildpad-den overleven in geïsoleerde poeltjes naast de riviergeul. Als de natte tijd van het jaar aanvangt staat het gebied onder invloed van fikse overstromingen die waarschijnlijk op soortgelijke wijze het *T. rex*-karkas hebben meege-sleurd zo'n 67 miljoen jaar geleden.



AFBEELDING 4. | Overzichtsfoto van 'Cyclic Butte' op de Murray Ranch, de auteur als schaal. De regelmatige afwisselingen tussen gelige zandstenen, olijfgroene siltstenen en donkere kleistenen rijk aan organisch materiaal zijn mogelijk gestuurd door de 21.000 jaar durende klimatologische precessiecyclus. Foto: Jan Smit.



AFBEELDING 5. | Een overzicht van de belangrijkste en meest voorkomende pollen en sporen uit de Hell Creek Formatie van het onderzoeksgebied, onderverdeeld in drie hoofdgroepen (Kaskes, 2016). Bij de varens komen *Azolla sp.* en *Ghosispora bella* voor als waterplanten terwijl *Cyathidites sp.* en *Laevigatosporites sp.* landvarens zijn. De naaktzadigen zijn vrij ondervertegenwoordigd, terwijl de bedektzadigen (bloeiende planten) juist domineren met veel diverse vormen zoals *Tricolpites microreticulatus* en de voor biostratigrafie belangrijke soorten *Wodehouseia spinata* en *Aquilapollenites sp.* (Nichols, 2002).

Het is een flinke klus om erachter te komen hoe de planten er in het Maas-trichtien precies uit hebben gezien, want hoe reconstrueer je allereerst het uiterlijk van een volwassen plant aan de hand van een minuscule stuifmeelkorrel? Daarnaast zijn heel veel soorten uit Afbeelding 5 uitgestorven na de meteorietinslag op de Krijt-Paleogeen grens (Nichols, 2002) en is het een grote speurtocht om op zoek te gaan naar de moderne verwante families. Een leuke uitdaging straks voor de Dinozaal in het vernieuwde Naturalis, waar naast de skeletten ook een achtergrondbeeld geschetst zal worden van het verloren regenwoud waarin de *T. rex* en haar tijdgenoten leefden. Het doel is om dit zo realistisch en nauwkeurig mogelijk uit te beelden met de meest actuele wetenschappelijke inzichten.

Een blik in de toekomst

Vanaf september 2016 zal Naturalis gerenoveerd worden en kortstondig

verhuizen naar het Pesthuis. Daar zal de Leidse *T. rex* verwelkomd worden in een tijdelijke tentoonstelling – waar het verhaal van de vondst en al het bijbehorende paleontologische en geologische onderzoek centraal staat – voordat volgens planning in 2018 een compleet gerenoveerd museum gereed is. Met de aanstaande oversteek van de botten over de Atlantische Oceaan zal Naturalis het eerste museum zijn buiten Noord-Amerika waar een *T. rex*-skelet in vaste expositie te zien zal zijn.

Het moge duidelijk zijn dat we met de nodige portie detectivewerk, daterings-technieken en vegetatiereconstructies proberen om de ‘Koning der Tiransauriërs’ en haar Boven Krijt omgeving opnieuw tot leven te wekken. Ik kan niet wachten tot de *Tyrannosaurus rex* haar eerste stappen zal zetten in het vernieuwde Naturalis. De bezoekers zullen worden meegesleept in haar royale voetsporen, en hopelijk ook een beetje in die van de pioniers Lewis & Clark, Cope & Marsh en Brown & Osborn uit Deel 1. Een paar stappen terug in de tijd.

Dankwoord

Allereerst wil ik de collega's in de VS bedanken voor het in eerste instantie vinden van het *T. rex*-skelet en voor het verlenen van toegang om onderzoek te doen, Michele en Blaine Lunstad, Lige en Mary-Ann Murray, Clayton Phipps en Pete en Tim Larson: dank voor de hulp en gastvrijheid! Daarnaast dank ik mijn begeleiders Jan Smit, Klaudia Kuiper, Anne Schulp, Hemmo Abels, Sander van der Kaars en Bert Boekschoten voor ondersteuning in het veld en/of waardevolle discussies over het verdere onderzoek. Verder ben ik dank verschuldigd aan diegenen die mij hebben geholpen in verschillende laboratoria:



Bouk Lacet voor het maken van slijpplaatjes op de VU, Roel van Elsas voor hulp bij het maken van de pollenfoto's, Maxim Krasnoperov, Wout Krijgsman en Mark Dekkers voor hulp bij de paleomagnetische metingen in Fort Hoofddijk in Utrecht en Martine Hagen, Unze van Buuren, Maarten Prins en Kay Beets voor hulp bij de uitvoering en interpretatie van de analyses in het Sedimentologie Lab op de VU. Het veld- en labwerk was niet mogelijk zonder financiële ondersteuning van het Molengraaff Fonds, de VU en Naturalis.

Tot slot bedank ik de redactie van Grondboor & Hamer en in het bijzonder Simon Troelstra voor de uitnodiging om een verhaal te schrijven over mijn Master Thesis en voor waardevolle correcties op een eerdere versie.

LITERATUUR

- Alvarez, L.W., W. Alvarez, F. Asaro, & H.V. Michel, 1980. *Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction: Science*, v. 208, no. 4448, p. 1095–1108.
- Ambrose, S.E., 1996. *Undaunted Courage: Meriwether Lewis, Thomas Jefferson and the Opening of the American West* (New York, 1996).
- Breithaupt, B.H., E.H. SoutHWELL & N.A. Matthews, 2008. *Wyoming's Dinamosaurus imperiosus and Other Early Discoveries of Tyrannosaurus rex in the Rocky Mountain West*. In Larson, P., and Carpenter, K. (eds.), *Tyrannosaurus rex: the Tyrant King*. Indiana University Press, p. 57-61.
- Brown, B., 1907. *The Hell Creek beds of the Upper Cretaceous of Montana: American Museum Natural History Bulletin*, v. 23, p. 823-845.
- Dingus, L., 2004. *Hell Creek, Montana: America's Key to the Prehistoric Past*. Macmillan.
- Dingus, L. & M. Norell, 2010. *Barnum Brown: the man who discovered Tyrannosaurus rex*. University of California Press.
- Fastovsky, D.E., & A. Berco-
vici, 2016. *The Hell Creek Formation and its contribution to the Cretaceous–Paleogene extinction: A short primer: Cretaceous Research*, v. 57, p. 368–390, doi: 10.1016/j.cretres.2015.07.007.
- Hilgen, F.J., et al., 2015. *Stratigraphic continuity and fragmentary sedimentation: the success of cyclostratigraphy as part of integrated stratigraphy: Geological Society, London, Special Publications*, v. 404, no. 1, p. 157–197, doi: 10.1144/SP404.12.
- Jaffe, M., 2000. *The gilded dinosaur: the fossil war between E.D. Cope and O.C. Marsh and the rise of American science*. Crown.
- Johnson, K.R., D.J. Nichols & J.H. Hartman, 2002. *Hell Creek Formation: A 2001 synthesis: Geological Society of America Special Paper: 361. The Hell Creek Formation and the Cretaceous-Tertiary boundary in the northern Great Plains: An integrated continental record of the end of the Cretaceous*, p. 503–510, doi: 10.1130/0-8137-2361-2.503.
- Kaskes, P., 2016. *Placing Naturalis Tyrannosaurus rex in a taphonomic, paleoenvironmental and integrated stratigraphic framework: Hell Creek Formation, eastern Montana, USA: Unpublished Master Thesis, Vrije Universiteit, Amsterdam*.
- Larson, N., 2008. *One hundred years of Tyrannosaurus rex: The Skeletons*. In Larson, P., and Carpenter, K. (eds.), *Tyrannosaurus rex: the Tyrant King*. Indiana University Press, p. 1 – 56.
- LeCain, R., W.C. Clyde, G.P. Wilson & J. Riedel, 2014. *Magnetostratigraphy of the Hell Creek and lower Fort Union Formations in northeastern Montana: Geological Society of America Special Paper 503. Through the end of the Cretaceous in the type locality of the Hell Creek Formation in Montana and adjacent areas*, p. 137-147, doi:10.1130/2014.2503(04).
- Nichols, D.J., 2002. *Palynology and palynostratigraphy of the Hell Creek Formation in North Dakota: A microfossil record of plants at the end of Cretaceous time: Geological Society of America Special Paper: 361. The Hell Creek Formation and the Cretaceous-Tertiary boundary in the northern Great Plains: An integrated continental record of the end of the Cretaceous*, p. 393–456, doi: 10.1130/0-8137-2361-2.393.
- Osborn, H.F., 1905. *Tyrannosaurus and other Cretaceous carnivorous dinosaurs: Bulletin of the American Museum of Natural History*, v. 21, p. 259–265.
- Rigby, J.K. & J.K. Rigby Jr, 1990. *Geology of the Sand Arroyo and Bug Creek quadrangles. McCone County, Montana: Brigham Young University Geology Studies*, 36, p 69-134.
- Schulp, A.S., 2014. *Tyrannosaurus rex voor Naturalis. Gea Tijdschrift*, vol. 47, nr. 4.
- Schulp, A.S., D. Bastiaans, P. Kaskes, P.L. Manning & P.L. Larson, 2015. *A new, mature and pathologic specimen of Tyrannosaurus rex. Society of Vertebrate Paleontology 75th Annual Meeting, Conference Poster*.
- Smit, J. & J. Hertogen, 1980. *An extraterrestrial event at the Cretaceous-Tertiary boundary: Nature*, v. 285, no. 5762, p. 198–200, doi: 10.1038/285198a0.

