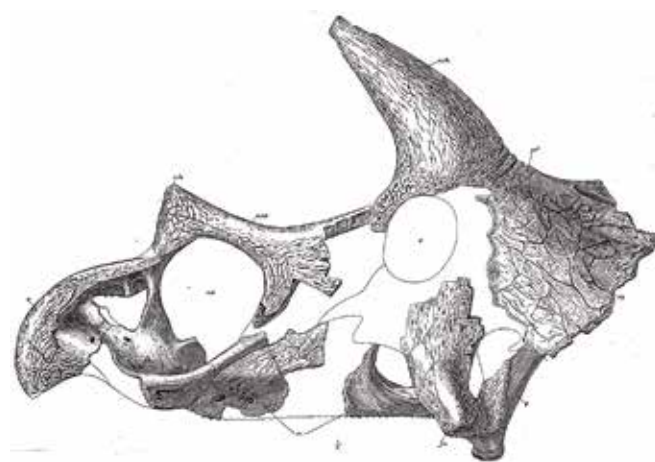


De *Triceratops*en van Naturalis: een gehoornde familie?

door Pim Kaskes, MSc - PhD onderzoeker aan de Vrije Universiteit Brussel en correspondent bij Naturalis en Dylan Bastiaans, MSc - medewerker Dinolab bij Naturalis
pim.kaskes@vub.be
dylan.bastiaans@naturalis.nl

Naturalis Biodiversity Center in Leiden was het afgelopen jaar in de ban van Trix, de Tyrannosaurus rex die het biodiversiteitsinstituut in 2013 heeft opgegraven uit de badlands van Montana. Nu de reusachtige vleeseter het land heeft verlaten voor een buitenlandse tour en het museum in de tussentijd wordt verbouwd, lijkt de dinogekke verdwenen. Maar niets is minder waar, want ondertussen wordt er achter de schermen in het Dinolab in Leiden hard gewerkt aan het uitprepareren van meerdere skeletten van Triceratops, de plantenetende tijdgenoot van T. rex, met als doel deze tentoon te stellen in het nieuwe museum. Daarnaast is het onderzoek in volle gang en wordt het spectaculaire kerkhof in Wyoming waarin deze gehoornde dinosauriërs zijn gevonden via een breed scala aan technieken onder de loep genomen. Hier volgt een overzicht van vier jaar opgravingen op de Amerikaanse prairie en de eerste ontdekkingen van het Naturalis' Triceratops-team.



Afb. 1. Tekening van de *Triceratops*-schedel (collectienummer YPM 1820) die in 1889 door John Bell Hatcher werd opgegraven in het oosten van Wyoming. Deze schedel wordt beschouwd als het holotype van *Triceratops horridus*, oftewel het unieke exemplaar dat direct gelinkt wordt met de soortnaam die geïntroduceerd werd in de oorspronkelijke publicatie(s) (Marsh, 1889; Hatcher et al., 1907).

Schrikwekkende driehoorn

Triceratops - vrij vertaald uit het Latijn: "driehoorngezicht" - is één van de bekendste dinosauriërs. Met de afmetingen van een olifant en zijn neushoornachtige uiterlijk met prachtig versierd nekschild, drie hoorns - één op de snuit en twee boven de oog-

kassen - en maffe papegaaibek is deze planteneter een graag geziene gast in menig kinderboek, film of plastic dinocollectie. Het is ook één van de eerst beschreven dinosauriërs. Hiervoor moeten we terug naar de tijd van de beruchte Bone Wars eind 19^e eeuw, waarin twee groepen Amerikaanse paleontologen tegen elkaar streden om nieuwe fossielen uit het onontgonnen binnenland van de VS zo snel mogelijk te ontdekken en te beschrijven. In het heetst van deze strijd groef paleontoloog John Bell Hatcher een schedel met drie hoorns op, dichtbij het dorp Douglas in het oosten van de Amerikaanse staat Wyoming in gesteenten die het jongste deel van het Krijt vertegenwoordigen (afb. 1). De schedel werd vervolgens vervoerd naar Yale University in New Haven, waar hij werd beschreven door de befaamde baas van Hatcher, Othniel Charles Marsh. Hij doopte de schedel om tot de nieuwe soort *Ceratops horridus* (Marsh, 1889), wat hij later veranderde in *Triceratops horridus*, dat 'schrikwekkend driehoorngezicht' betekent. Tot op de dag van vandaag is dit de valide typesoort van het geslacht *Triceratops*.

Delftse schedel

Marsh had er een handje van om snel veel nieuwe dinosauriërsoorten te benoemen om concurrenten zoals Edward Drinker Cope voor te zijn. Hij liet Hatcher in Niobrara en Converse County



Afb. 2. De *Triceratops*-schedel die door Hatcher in 1891 werd opgegraven (YPM 1832) en later naar Delft werd verscheept, is tegenwoordig in de collectie van Naturalis te vinden. De schedel is uiteindelijk toegeschreven aan de soort *Triceratops prorsus*. Foto: Naturalis.

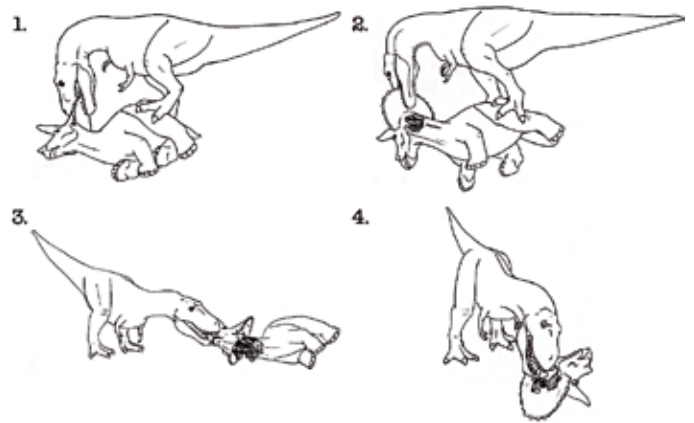
in Wyoming tussen 1889 en 1891 in totaal 31 *Triceratops*-schedels opgraven, waarvan hij geen enkele toeschreef aan *T. horridus* en er maar liefst negen nieuwe soorten van maakte. Eén van deze historische schedels (met het originele registratienummer YPM 1832), is tegenwoordig in de collectie van Naturalis te vinden (afb. 2). In 1956 doneerde het Yale Peabody Museum deze schedel aan het Mineralogisch-Geologisch Museum in Delft in ruil voor gidsfossielen die in Nederlands Timor (Indonesië) waren opgegraven. Echter, tijdens het transport van de VS naar Nederland raakte YPM 1832 zwaar beschadigd door een storm en het meerdere malen laten vallen van het krat. De schedel werd vervolgens door Dr. Pieter Kruizinga - met de beperkte middelen van die tijd - in een jaar tijd gerestaureerd. In 2013 werd het exemplaar overgeplaatst van het Mineralogisch-Geologisch Museum in Delft naar Naturalis. Momenteel is het plan om deze met de huidige kennis en 3D-technieken weer in elkaar te zetten en een moderne make-over te geven (Bastiaans et al., 2015). De 'Delftse schedel' is een belangrijk exemplaar, omdat hij bekend staat als type-exemplaar voor de (inmiddels ongeldige) soort *Triceratops brevicornus*, 'met de korte hoorn'. Momenteel denkt men dat deze schedel echter behoort tot de zeldzamere soort *Triceratops prorsus*, de andere soort die (naast *T. horridus*) als valide wordt beschouwd en vergeleken met *T. horridus* onder meer bredere 'wenkbrauw-hoorns' en een langere 'snuif-hoorn' heeft.

Om een goede uitspraak te kunnen doen of er sprake is van één of meerdere soorten van het geslacht *Triceratops* is het cruciaal om meer te weten over de diverse vormen die *Triceratops* kan aannemen. Hiermee wordt de skeletvariatie bedoeld tijdens de groei van jong individu tot volwassene (ontogenie), maar ook de variatie die kan ontstaan door het verschil tussen mannetjes en vrouwtjes (seksuele dimorfie), de verschillende wijzen waarop skeletten kunnen fossiliseren (tafonomie), alsmede de variatie in verspreidingsgebied (biogeografie) en die door de geologische tijd heen (stratigrafie). Nauwkeurig stratigrafisch onderzoek door Scanela et al. (2014) suggereerde dat *Triceratops horridus* in de laatste anderhalf miljoen jaar van het Krijt evolueerde in *Triceratops prorsus* en dat deze soorten waarschijnlijk niet naast elkaar hebben geleefd. Toch is er ook vandaag de dag nog veel gebakkelei rondom de naamgeving van de gehoornde dinosauriërs en in het bijzonder rondom de groep Chasmosaurinae waartoe *Triceratops* behoort. Scanela & Horner (2010) beweerden dat de al ruim 120 jaar bekende gehoornde dinosaurius *Torosaurus* helemaal geen apart geslacht en soort is, maar een ontogenetische variant van *Triceratops*, namelijk een zeer oud individu. *Torosaurus* zou onder meer de grote gaten in zijn nekschild pas ontwikkeld hebben tijdens de laatste fase van zijn leven en dus behoren tot de eindfase van de groeiserie van *Triceratops*. Andere wetenschappers denken dat *Torosaurus* met zijn lange en uiterst rechte kam wel gelijk tot een apart geslacht behoort (Longrich & Field, 2012).

Waar is de rest van het skelet?

Eén van de redenen waarom er nog zoveel discussie bestaat over de naamgeving van deze groep gehoornde dinosauriërs is omdat museumcollecties van *Triceratops*-fossielen zwaar worden gedomineerd door schedels. En dat terwijl *Triceratops* wordt beschouwd als één van de meest voorkomende dinosauriërs in het jongste deel van het Krijt van westelijk Noord-Amerika. Op basis van bottelingen in de fossielrijke lagen van het Hell Creek-typegebied in het oosten van Montana is gebleken, dat *Triceratops* ongeveer 40% van de gehele dinosauriusverzameling vertegenwoordigt (Horner et al., 2011). Gek genoeg worden er dus alleen maar geïsoleerde schedels en maar zelden skeletten van *Triceratops* gevonden. Waarom is dit zo?

Fowler et al. (2012) kwamen met een zeer controversiële verklaring voor dit feit, waarbij de aartsvijand van *Triceratops* de grote boosdoener is: *Tyrannosaurus rex* (afb. 3). Het is bekend van *T. rex* dat hij karkassen met bot en al naar binnen werkte. Dit is aangetoond met behulp van chemische analyses aan tanden



Afb. 3. De gereconstrueerde tafelmanieren van *T. rex* (geopperd door Fowler et al., 2012), die de zeldzaamheid van fossiele vondsten van het achterlijf van *Triceratops* mogelijk kunnen verklaren. Tekening: Nate Carroll.

van *T. rex* (aan de hand van de verhouding tussen isotopen van calcium) en coprolieten (gefossiliseerde drollen) die rijk zijn aan grote botscherven (Chin et al., 1998). De verwondingen die Fowler en collega's aantreffen op een flinke collectie *Triceratops*-schedels uit Montana, wezen erop dat *T. rex* een vrij gruwelijke manier van onthoofding toepaste op zijn gehoornde tijdgenoot (afb. 3). Alle bijtafdrukken waren echter niet genezen en dit duidt erop dat *T. rex* waarschijnlijk na de dood van *Triceratops* de verbeende kop eraf rukte om bij de voedzame nekspieren en de rest van het sappige achterlijf te kunnen komen. Een interessant idee, maar de vraag is in hoeverre andere zaken een belangrijkere rol spelen in de zeldzaamheid van botten van het achterlijf van *Triceratops*. Fossiliseren de harde en meer aan elkaar vastgegroeide delen van de schedel gewoonweg beter dan de rest van het lichaam? Of is er ook sprake van een zogenaamde 'sampling bias'? Werden sinds oudsher alleen de kenmerkende driehoorngezichten herkend in het veld en lieten de paleontologen de andere botten links liggen? De toekomst zal dit hopelijk kunnen uitwijzen.

Tot op heden is het meest complete *Triceratops*-skelet dat van Lane, dat met 75-85% origineel botmateriaal tentoongesteld staat in het Houston's Museum of Natural Science. Veel dinosauriërmusea hebben tegenwoordig een afgietsel van een *Triceratops* in de expositie staan, maar in het verleden zijn nogal eens controversiële beslissingen gemaakt in het monteren van het bijbehorende skelet. Door het gebrek aan materiaal zijn er zelfs gevallen bekend waarbij de (veel talrijkere) teenkootjes van hadrosauriërs zijn gebruikt om het skelet aan te vullen. Inmiddels weten we wel beter, maar toch is de anatomische atlas van *Triceratops*, die voortborduurde op het werk van Marsh en Hatcher uit begin vorige eeuw, nog steeds onvolledig. Kortom, om statistisch betere conclusies te kunnen trekken over de anatomie, de diversiteit in skeletvormen en de verschillende soorten is het belangrijk dat er simpelweg meer nieuwe skeletten worden ontdekt en het liefst ook meerdere individuen binnen één gesteentelaag van een bepaalde ouderdom. En juist dat laatste is bij *Triceratops* ook een zeldzaamheid.

Bonebeds: plekken waar gedrag kan fossiliseren

Opggravingslocaties waar paleontologen extra warm van worden, zijn zogenaamde bonebeds (beenderlagen): oftewel plekken waarin grote hoeveelheden botten, schubben en tanden zijn opgehoopt in vaak één relatief dunne gesteentelaag. Deze zeldzame botaccumulaties kunnen belangrijke informatie geven over het leven (paleobiologie) en de doodsoorzaak (tafonomie) van de betreffende dieren. Maar ze geven ook een unieke inzicht in het lokale milieu en het klimaat die hebben gezorgd voor de juiste omstandigheden om deze grote hoeveelheden skeletten te verzamelen en te preserven voor miljoenen jaren. Wanneer er meerdere skeletten van één bepaalde soort worden aangetroffen, verschaffen bonebeds ook interessante aanwijzingen voor bijvoorbeeld mogelijk groepsgedrag van die bepaalde diersoort. Zo wordt het grootste bonebed van dinosauriërs ooit ontdekt, in

de buurt van Hilda in de Canadese provincie Alberta, in verband gebracht met een massasterfte van kudde met duizenden (!) individuen van de gehoornde dinosaurïër *Centrosaurus apertus* (Eberth et al., 2010). Deze beenderlaag in een kleigesteente van minder dan 1 meter dik beslaat een gigantisch oppervlakte van 2,3 vierkante kilometer (vergelijkbaar met ongeveer 280 voetbalvelden). Het meest waarschijnlijke scenario voor het ontstaan van het Hilda Mega Bonebed heeft te maken met seizoensale tropische stormen die vanuit de Western Interior Seaway - de uitgestrekte binnenzee die Noord-Amerika van ca. 110 tot ca. 65 miljoen jaar geleden in twee landmassa's splitste - de kustvlakte van het vroegere Alberta deden overstromen. Kudde van *Centrosaurus* liepen rond op deze uitgestrekte kustvlakten en konden geen kant op toen het water begon te stijgen, met een catastrofale massaverdrinking tot gevolg (afb. 10B).

Centrosaurus is een zeer verre neef van *Triceratops*, want het is een geslacht dat pakweg 10 miljoen jaar eerder leefde en bij de andere grotere groep van gehoornde dinosaurïërs (Ceratopsidae) hoort, namelijk de Centrosaurinae. De tak waartoe *Triceratops* wordt gerekend, de Chasmosaurinae, kent nauwelijks voorkomens in bonebeds. De enige soort hiervan waar bonebeds van bekend zijn is ook *Triceratops*, maar tot op heden zijn er slechts drie beschreven in de literatuur (zie de locaties op de kaart van afb. 4). Mathews et al. (2009) documenteerden het eerste bonebed van *Triceratops*: de Homer-site in het zuidoosten van Montana. Hier was sprake van drie jonge individuen en een totaal aantal van 130 botten. Vijf jaar later beschreven Keenan & Scanella (2014) een nieuwe site, het Quittin' Time-bonebed in het Hell Creek-typegebied in het noorden van Montana. Dit leverde in totaal 91 botten op en ook drie individuen: waarschijnlijk een jonkie, een tiener en een jongvolwassene. Sinds kort is daar een derde bonebed bijgekomen, één die alle

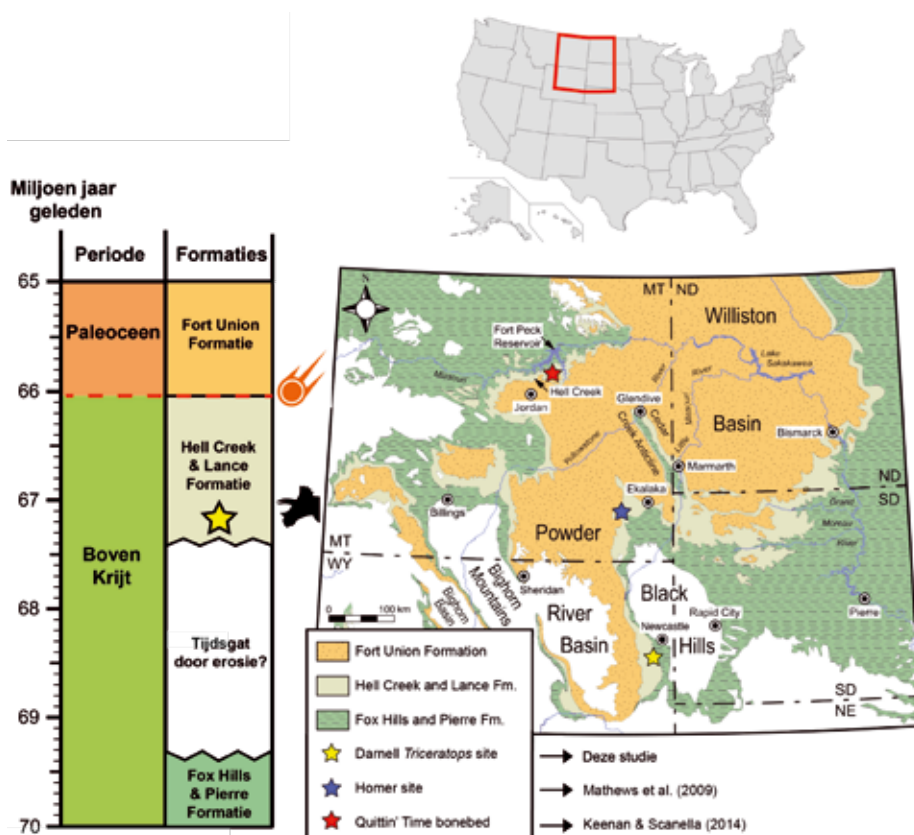
verwachtingen heeft overtroffen met inmiddels al meer dan 1100 opgegraven botten; de teller staat momenteel op vijf tot acht individuen van verschillende groeistadia. We hebben het over het recent ontdekte *Triceratops*-bonebed van Naturalis, in het oosten van de staat Wyoming, die zich bevindt in het onderste deel van het gesteentepakket van de Lance Formatie (afb. 4; Kaskes et al., 2016).

Donley's teenkootje en het onverwachte massagraf

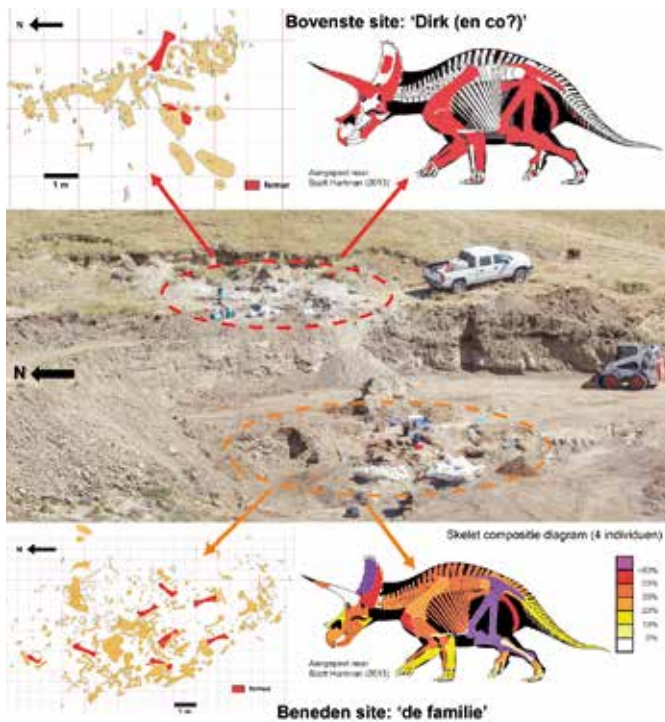
In 2003 vond veehouder Donley Darnell in het midden van zijn ranch in het oosten van Wyoming een bijzonder stukje bot. Hij gaf het aan paleontoloog Pete Larson, directeur van het befaamde Black Hills Institute in South Dakota, die het determineerde als een teenbotje van een *Tyrannosaurus rex*. Een bijzondere vondst, maar tien jaar lang lag het in Larsons opslag in Hill City. Tot het moment dat Naturalis zich in 2013 bij het Black Hills Institute meldde met de mededeling dat het geïnteresseerd was in het opgraven van een *T. rex*. Larson haalde het teenkootje van Donley tevoorschijn en in mei 2013 ging een expeditie van Naturalis en het Black Hills Institute vol goede moed naar Donley en Nancy Darnells ranch om het restant van de *T. rex* uit de grond te halen. Na een week non-stop graven, bleken een linkervoet en delen van de poot alles te zijn wat de heuvel prijs wilde geven. In de buurt waren in 2012 door een aantal fossielenstropers twee skeletten van *Triceratops* op het land van Donley en Nancy gevonden. Het Naturalis-team groef voor een korte tijd door op deze locatie, maar de teleurstelling overheerste in eerste instantie over het mislopen van een *T. rex*. Pakweg drie maanden later veranderde deze emotie plotseling in euforie, want op een ranch in Montana werd Trix opgegraven: de zeer goed bewaarde en op twee na meest complete *T. rex* ooit (Schulp, 2014; Kaskes, 2016). In 2016 en 2017 werd Trix tentoongesteld in het Pesthuis in Leiden en na de huidige buitenlandse tour zal ze in 2019 in de Dinozaal van het nieuwe museum een prominente plek krijgen.

In de jacht naar de *T. rex* in 2013 was de *Triceratops*-site in Wyoming in eerste instantie een bijvangst. In augustus 2015 werd besloten een nieuwe expeditie op te starten en inmiddels is gebleken dat deze specifieke site rijker dan ooit is aan *Triceratops*-materiaal. In 2015, bij het weghalen van *overburden* stuitte Pete Larson op een nieuw skelet, ongeveer vier meter boven de eerste vondsten. In eerste instantie leek het om de eendebekdinosauriër *Edmontosaurus* te gaan, maar al snel werd dit bijgesteld naar *Triceratops*: alweer het vijfde individu dat was herkend in dit massagraf! Vanaf dat moment werd de opgraving in twee delen voortgezet (afb. 5): een benedenlocatie (voor het gemak 'de familie' genoemd vanwege de vele daar aanwezige skeletdelen) en een bovenste locatie, die liefkozend Dirk (en co?) genoemd wordt. Het *Triceratops*-skelet op de bovenste locatie is namelijk vernoemd naar Dirk Cornelissen, de Vlaamse vrijwilliger die vele uren besteedde aan het zorgvuldig vrijmaken van zijn prehistorische - inmiddels - naamgenoot.

Alles wees erop dat we op de bovenste locatie met één individu te maken hadden gezien de twee gevonden dijbenen (femora) en het patroon waarin de botten lagen. Er was namelijk geen sprake van articulatie (het fenomeen dat verschillende botten nog in de oorspronkelijke positie aan elkaar liggen),



Afb. 4. Geologische kaart van het Williston-bekken en het Powder River-bekken in de Amerikaanse staten Montana (MT), Wyoming (WY), North Dakota (ND) en South Dakota (SD), waarop de gesteenteformaties staan aangegeven die dateren uit het Boven-Krijt (groen) en het Paleoceen (oranje) (zie ook het fragment van de geologische tijdschaal links). De locaties van de verschillende *Triceratops*-bonebeds zijn aangegeven, waarbij de Naturalis-site uit het onderste deel van de Lance Formatie van Wyoming in het geel is aangeduid. Kaart aangepast naar Fastovsky & Bercovici, 2016; Johnson et al., 2002.



Afb. 5. Foto uit september 2015 vanuit een helikopter boven het Naturalis *Triceratops*-bonebed in Wyoming. De locatie bestaat uit twee opgravings-sites die verticaal ongeveer 4 m in hoogte verschillen. Van beide sites is de vereenvoudigde bottenkaart aangegeven en een algemeen overzicht van welke botten er zijn gevonden, met in rood de verschillende dijbenen (femora). Het skeletcompositie-diagram van de beneden-site geeft de relatieve percentages van de gevonden delen van het skelet weer ten opzichte van het verwachte aantal individuen. Op basis van de acht gevonden dijbenen gaan we ervan uit dat er (minimaal) vier individuen aanwezig zijn in het bonebed (vandaar de paarse kleur voor de dijbenen) en op die manier is de rest van het 'gecombineerde' skelet ook in te kleuren. Afbeelding op basis van Kaskes et al., 2016.

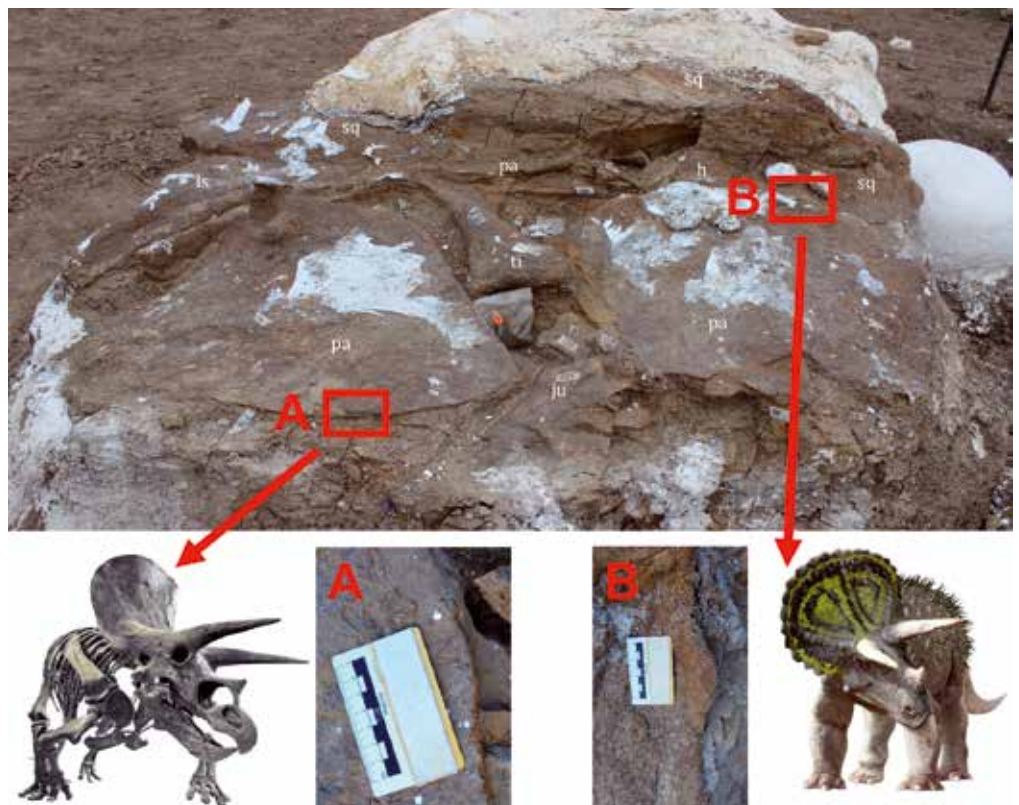
maar er was wel duidelijk een associatie zichtbaar. Dit houdt in dat de botten in een bepaalde volgorde liggen die aangeeft dat ze hoogstwaarschijnlijk ooit bij elkaar hebben gehoord. Bij Dirk is dit te zien aan de opeenvolging van een onderkaak (mandible) naar een schouderblad (scapula) en vervolgens naar een dijbeen (femur) (afb. 5). In de zomer van 2016 kwamen we er echter achter dat er mogelijk nog een tweede 'Dirk' aanwezig is bij de bovenste locatie op basis van de ontdekking van een mogelijk tweede linker neusbots (nasal).

Het grote 'beneden-bonebed' laat echter een zeer gedisciplineerd botpatroon en slechts een lichte associatie zien. Over het algemeen ziet de bottenkaart eruit als een chaotische mix (afb. 5) van resten van in totaal minstens vier individuen, op basis van de acht gevonden dijbenen. Als in detail naar de bottenkaart wordt gekeken, lijken de grotere beenderen zich aan de randen te concentreren en de kleinere botjes meer in het midden. Een up-to-date bottenkaart, met de meest recente botten en hun stratigrafische hoogte, is echter noodzakelijk om hier een goede uitspraak over te doen en om erachter te komen welk bot bij welk individu hoort.

Van kam tot hoefje

Wat is de oogst van vier seizoenen op de Amerikaanse prairie? In totaal zijn ongeveer 1100 botelementen gedocumenteerd, waar van alles en nog wat bij zit, zoals ook te zien valt aan de skeletoverzichten in afb. 5. Het unieke aspect van deze site is dat er veel skeletmateriaal van het achterlijf bewaard is gebleven. De bovenste locatie bevat voornamelijk grote botten, zoals dijbenen en opperarmbenen, die in een bepaalde noord-zuid oriëntatie lijken te liggen. Bij de rijke benedenlocatie zijn er naast deze *longbones* ook vele kleine staartwervels en de zeer zeldzame hoefjes ontdekt. De meest in het oog springende vondsten zijn echter de kenmerkende hoorns en kamschilden van *Triceratops*. In een groot blok bij de benedenlocatie zijn kamschilden van maar liefst drie individuen zichtbaar die ook nog eens verschillende groeistadia weergeven (afb. 6). De epicipitals, oftewel de knobbels op het kamschild, laten bij het ene individu puntige versieringen zien die erop wijzen dat het dier nog in de geslachtsrijpe fase van zijn leven zat. Deze observaties geven echter puur een relatieve ouderdom.

Afb. 6. Het Big Block, oftewel het complexe blok bij de beneden locatie dat op het moment van schrijven nog in Wyoming ligt. In de overzichtsfoto van het ca. 3 bij 4 m grote blok zijn resten van maar liefst drie individuen van *Triceratops* te zien. In de voorgrond liggen twee parietals (pa, het middelste deel van het nekschild), die behoren tot een zeer volwassen individu (A) en een jongvolwassene (B). Dit is op basis van de vorm van de zogenaamde epicipitals, de versieringen aan het uiteinde van het nekschild. De epicipitals van B steken als puntige versieringen uit, wat mogelijk een teken is geweest van seksuele uitdrukking om indruk te maken op het andere geslacht. De vlakke epicipitals van A geven aan dat dit individu relatief een stuk ouder is en waarschijnlijk niet meer seksueel actief is. Verder is er op de achtergrond nog een derde parietal zichtbaar, die onder het gipsblok uitloopt in een enorme schedel. Foto's: Luca Brunke en Dylan Bastiaans.



Om de groeipatronen van *Triceratops* beter te begrijpen, doet masterstudent Jimmy de Rooij van de Universiteit Utrecht op dit moment onderzoek naar de microscopische structuren in een selectie van de gevonden botten. Samen met paleontoloog Koen Stein van de Vrije Universiteit Brussel hebben zij op basis van medische CT-beelden geboord in diverse dijbenen om een kleine kern te verkrijgen. Hiervan zijn slijpplaatjes gemaakt om de groeiringen in het botweefsel, vergelijkbaar met jaarringen in een boom, te beschrijven en te tellen. Op een vergelijkbare manier werd door Stein en collega's eerder vastgesteld dat *Tyrannosaurus* Trix ongeveer dertig jaar oud was toen ze stierf. Deze aanpak klinkt eenvoudiger dan het is, want in veel gevallen zijn de groeiringen 'overgroeid' met nieuw botweefsel of chemisch aangeast door latere bodemprocessen. Toch geeft deze techniek ons belangrijke houvast wat betreft het koppelen van specifieke botten aan individuen van een bepaalde ouderdom, om uiteindelijk de complexiteiten van dit bonebed te kunnen ontrafelen.

Het zal zeker niet blijven bij de 1100 botten die tot nu toe gevonden zijn. In de zomer van 2018 staat er wederom een expeditie op het programma, hoogstwaarschijnlijk de laatste, met als grote doel om het *Big Block* er veilig uit te halen. Daarnaast zullen tijdens het preparerewerk in het Dinolab van Naturalis Biodiversity Center in Leiden nog vele nieuwe botten in de gesteentematrix ontdekt worden zodra nieuwe gipsblokken worden open gezaagd. Dit is een waar monnikenwerk en het zal zeker nog wel zo'n tien jaar gaan duren om alles uit te prepareren.

Drones n' Dinosaurs

Bij een opgraving van meerdere jaren en met zo'n grote hoeveelheid aan botten is het cruciaal dat de documentatie van alle vondsten goed verloopt. Een bot dat wordt vrijgelegd en direct uit de grond wordt gehaald zonder dat er informatie over de vindplaats wordt opgeschreven of vastgelegd, is voor een zeer groot deel voor de wetenschap verloren. Om deze reden wordt er stevast een bottenlijst en een bottenkaart bijgehouden. De traditionele manier van karteren binnen de paleontologie gebeurt veelal in grids en levert puur tweedimensionale bottenkaarten op (zie de kaarten in afb. 5). Een belangrijke component is echter de hoogte van de diverse botten, want een bot dat bijvoorbeeld 10 cm hoger is gevonden dan een ander bot, kan wellicht op vrijwel hetzelfde moment, maar ook gerust tientallen tot zelfs honderden jaren later zijn afgezet.

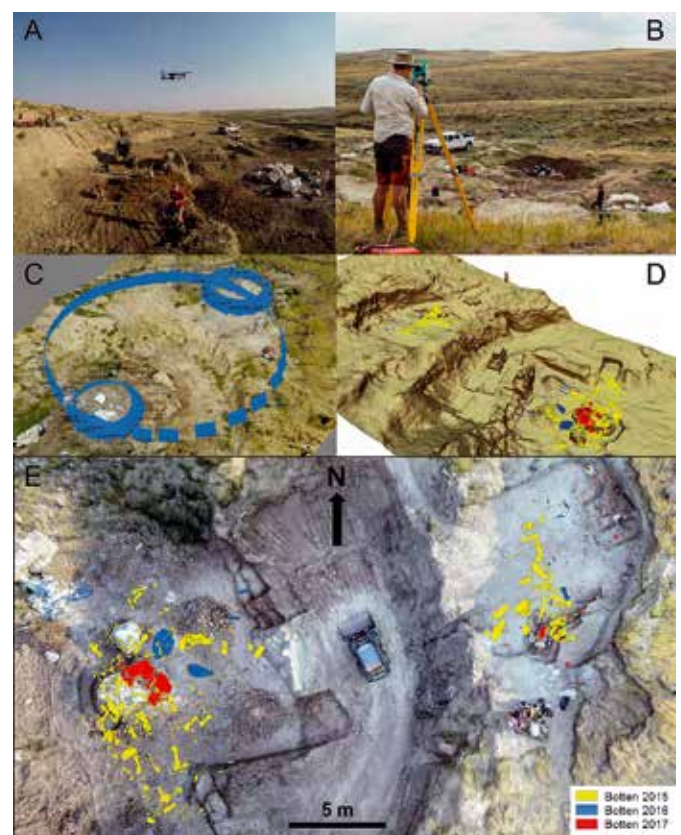
Om deze onzekerheden te voorkomen hebben wij in samenwerking met de Faculteit Archeologie van de Universiteit Leiden een nieuwe techniek ontwikkeld voor het karteren van bonebeds van dinosauriërs met behulp van geavanceerde technieken, zoals een drone (afb. 7A), total station (afb. 7B) en een differential GPS-base en rover (Kaskes et al., 2017). Iedere ochtend werd - voordat de noeste gravers aan het werk gingen - de opgravingsite met een drone onder verschillende hoeken en vanaf verschillende hoogtes gefotografeerd. Deze foto's werden terug in het kamp direct op de computer verwerkt met behulp van fotogrammetrie-software (afb. 7C). Hierbij worden de foto's aan elkaar gekoppeld tot een 3D-model dat kan worden ingeladen in GIS-software, om vervolgens de diverse botten in te tekenen. Zodra een bot was ingetekend werd het opgravingsteam op de hoogte gesteld en kon het desbetreffende bot worden ingepakt in een gipsverband en verwijderd.

Belangrijk bij dit hele proces is dat tijdens de dronevluchten steeds ook foto's worden gemaakt van de zogenaamde *ground control points*. Dit zijn markeringen op de grond waarvan de afstand tot een vast punt heel nauwkeurig wordt ingemeten met behulp van een total station. Dit lokale grid van punten kan vervolgens op een globaal referentiegrijs (lengtegraad versus breedtegraad) worden geplaatst door twee vaste punten in te meten met een differential GPS die satellietdata gebruikt. Het eindproduct is niet alleen een indrukwekkend 3D-model (afb. 7D) dat bijvoorbeeld als virtual/augmented reality-animatie gebruikt kan worden in museumtentoonstellingen, maar het is bovenal een

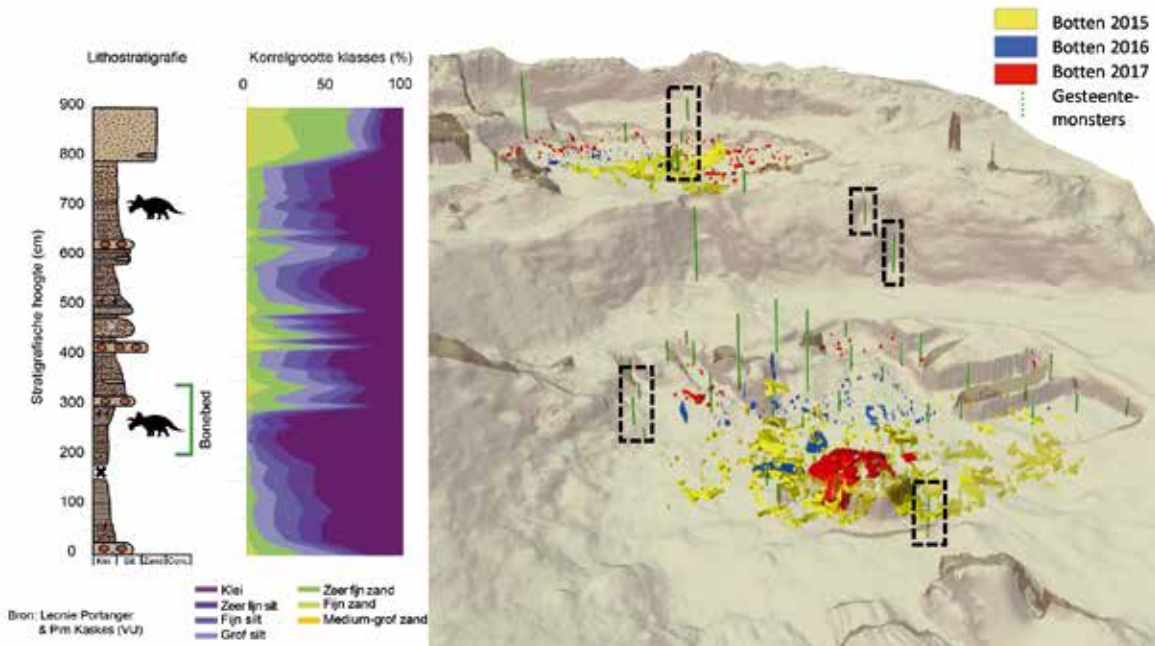
zeer gedetailleerde en georeferereerde digitale 3D-database die allerlei wetenschappelijke vragen kan beantwoorden. Vanwege gemeenschappelijke referentiepunten op zowel de 2D- als 3D-kaarten, kunnen data van verschillende jaren aan elkaar gekoppeld worden in dit 3D-model. Verder kunnen met deze techniek botafmetingen en de afstand tussen botten op de centimeter tot millimeter nauwkeurig worden vastgesteld, zowel in de x-, y-, als z-richting. Elke toekomstige analyse die gedaan wordt aan botten of sedimentmonsters uit het bonebed kan op deze manier gearchiveerd worden en de onderlinge relatie kan ervan worden uitgezocht. Er is nog veel werk aan de winkel om alle terabytes aan 3D-data uit te werken, maar dit accurate 3D-model is een mooi fundament voor toekomstig onderzoek.

Reconstructie van de leefomgeving

Om er zo goed mogelijk achter te komen wat er pakweg 67 miljoen jaar geleden is gebeurd met onze *Triceratopsen*, is het noodzakelijk om verder te kijken dan de botten alleen. Het sedimentaire gesteente rondom de botten is een schatkamer aan in-



Afb. 7. Een overzicht van de technieken en resultaten van het 3D-karterwerk op de *Triceratops*-site. Met behulp van een drone (de DJI Mavic Pro) worden elke dag de twee sites onder verschillende hoeken en op verschillende hoogtes gefotografeerd (A). Naast de voortgang van de opgraving en de nieuw gevonden botten, worden tegelijk ook steeds een serie markeringen op de grond (zgn. ground control points) mee gefotografeerd. Deze markeringen worden vervolgens met twee verschillende archeologische meetapparatuur ingemeten. Allereerst met een Total Station, zoals Roeland Emaus laat zien in B, om de onderlinge x-, y- en z-afstanden tussen de markeringen op de millimeter tot centimeter nauwkeurig in te meten. Vervolgens kunnen met behulp van een Differential GPS en satellietdata de Total Station-punten ook daadwerkelijk op de geografische kaart geplaatst worden. De drone-beelden en ground control points worden met behulp van fotogrammetrie-software (C) aan elkaar gekoppeld tot een georeferereerd 3D-model. De bot-omlijningen worden vervolgens ingetekend met behulp van GIS-software (D). Het eindresultaat is een 3D-database waaruit verschillende kaarten gemaakt kunnen worden, bijvoorbeeld een overzichtsfoto met daarin alle botten die gevonden zijn tot en met 18 augustus 2017, inclusief die van eerdere jaren (E). Foto's en 3D-modellen: Hanneke Jacobs, Luca Brunke, Roeland Emaus en Pim Kaskes.



Afb. 8. Lithostratigrafische kolom van het *Triceratops*-bonebed met de resultaten van de eerste korrelgrootte-analyses van de 9 meter dikke gesteenteopvolging, die bestaat uit afwisselingen tussen organisch rijke klei- en siltlagen en dunne zandpakketten. Opvallend is de zeer fijne fractie (meer dan 75% klei) in het onderste deel van het grootste bonebed-niveau ten opzichte van de iets grovere fractie van het bovenste bonebed. Het voorlopige 3D-model aan de rechterkant laat naast de botten ook de secties zien waar de sedimentologische en geochemische analyses op zijn gedaan en op zullen worden gedaan. Afbeelding op basis van Portanger, 2016; Kaskes et al., 2016; 2017.

formatie over de lokale omgeving en kan daarmee aanwijzingen geven over de omstandigheden waaronder deze *Triceratopsen* zijn omgekomen en uiteindelijk bewaard, kortom: de tafonomie. Naast het nauwkeurig 3D-documenteren van de gevonden botten is het dan ook cruciaal om ook de verticale en laterale positie van verse gesteentemonsters te documenteren, om de botten en de gesteenten één op één met elkaar te vergelijken. In 2016 heeft Leonie Portanger in het kader van haar bachelor thesis op de VU in Amsterdam de eerste analyses gedaan op de sedimenten van het bonebed. Korrelgroottemetingen en analyses aan organisch materiaal en kalkgehalte lieten zien dat de benedenlocatie zeer kleilig is en ook zeer rijk is aan organisch materiaal (afb. 8). Dit suggereert dat een moerasachtige omgeving mogelijk aanwezig was ten tijde van de *Triceratopsen*. Echter, door de twee kleipakketten bij de benedenlocatie, die bot bevatten, loopt een dunne laag witgekleurde zandsteen. Dit niveau valt waarschijnlijk te interpreteren als een *crevasse splay deposit*: een afzetting die ontstaat nadat een rivier door zijn oevers breekt en fijn zand uit suspensie neerlegt in een waaiervorm op de uiterwaarden van een riviervlakte. Masterstudent Oeki Verhage (VU) onderzoekt momenteel de laterale variaties van deze verschillende gesteente-eenheden in de benedenlocatie en wat dit kan betekenen voor de interpretatie van het tafonomische scenario.

Naast de sedimentologische context kan de geassocieerde flora en fauna ook waardevolle aanwijzingen verschaffen over het lokale milieu ten tijde van de afzetting van het bonebed. Tijdens de opgraving zijn we onder meer krokodillentanden, vissschubben en schildpadresten tegengekomen, maar ook vele fossiele plantenresten, zoals bladeren, vruchten, zaden en zelfs stukken boomstam (afb. 9). In samenwerking met het Archeobotanisch Lab van de Universiteit Leiden zijn we nu twee masterprojecten begonnen om een vegetatiereconstructie te maken van het bonebed. Masterstudente Janna Verwijs houdt zich bezig met het identificeren van de macroresten, zoals zaden en bladeren. Yorick Beugelink zoomt nog meer in en kijkt naar de variaties in de pollen en sporen, oftewel de microscopische fossiele stuifmeelkorrels. Door beide technieken te combineren is het ook mogelijk om biostratigrafie toe te passen en tot een nauwkeurigere geologische ouderdom te komen, waarmee correlaties met andere bonebeds uit bijvoorbeeld de Hell Creek Formatie

tot de mogelijkheid gaan behoren. Daarnaast is Masterstudente Lisa Sánchez van de Universiteit Maastricht voor haar eindschrijft een aantal wetenschappelijke illustraties aan het maken van verscheidene aspecten rondom de *Triceratopsen* van Naturalis. Een aansprekende manier om het meest recente onderzoek aan het publiek te tonen.

Woeste overstrooming of put des doods?

Wat vertellen deze eerste resultaten ons nu precies wat er met de *Triceratopsen* van Naturalis is gebeurd? Op dit moment is dat zeer lastig om te zeggen omdat het onderzoek nog in volle gang is, maar wel is er een serie van tafonomische scenario's denkbaar (afb. 10)



Afb. 9. Voorbeelden uit het veld van fossiele plantenresten die in beide bonebeds gevonden zijn. V.l.n.r.: afdrukken van gefossiliseerde bladeren, zaden/vruchten en imprints van takken, stengels en stammen van bomen. Foto's: Richard de Haan, Pim Kaskes en Olof Moleman.

die we de komende maanden tot jaren kunnen gaan testen met de verworven data. Is de locatie bijvoorbeeld een voedingsplek geweest voor een hongerige *T. rex* (afb. 10A)? Waarschijnlijk niet, omdat het bewijs voor aaseters/jagers zich beperkt tot slechts één kleine theropode-tand en we dan ook meer beschadigde botten zouden verwachten. Zijn de *Triceratopsen* dan wellicht verrast door een tropische storm, net zoals de vele Centrosaurussen in het Hilda Mega Bonebed in Canada (afb. 10B)? Mogelijk, maar op dit moment is daar niet veel bewijs voor. Er is tot op heden niet veel bekend over de verspreiding van de Westerior Interior Seaway in Wyoming aan het einde van het Krijt. Als de kustlijn dichtbij zou liggen zou dit mogelijk kunnen zijn, al zouden we dan wel een *event bed* verwachten en andere bonebeds in de Lance Formatie op een vergelijkbare stratigrafische hoogte. Zijn de *Triceratopsen* dan misschien om het leven gekomen vanwege een grootschalige droogte (afb. 10C)? Klimaatreconstructies van het Laat-Krijt in deze regio hebben laten zien dat een

moessonklimaat zeer aangemelijk is (Fricke et al., 2010) en er dus sprake kan zijn van een zeer droge tijd en een zeer natte tijd in het jaar. De vraag is dan ook of deze *Triceratopsen* als familie of kudde samenleefden of alleen vanwege een milieucrisis bij elkaar kwamen en eventueel samen stierven. De paleobotanische studies kunnen deze droogte hopelijk bevestigen of ontcrachten. Nog een suggestie zou kunnen zijn dat de *Triceratopsen* in een woeste overstroming zijn meegesleurd (afb. 10D). We hebben aanwijzingen voor een ophoping van boomstammen, een *log jam* genaamd, maar de korrelgrootte bij de benedenlocatie is vrij fijn voor zo'n soort gebeurtenis. Wellicht is de bovenlocatie meer geschikt voor zo'n soort scenario, omdat hier de botten in een noord-zuid patroon georiënteerd zijn, mogelijk veroorzaakt door de dominante stroomrichting van het water.

Een relatief onbekend tafonomisch fenomeen staat bekend als *bloat and float* (afb. 10E). Dit is tegenwoordig bijvoorbeeld bekend van vee dat omkomt tijdens een overstroming en waarvan vervolgens het karkas – door de ophopende gassen in het lichaam – gaat drijven en over kilometers afstand getransporteerd kan worden. Dit zou suggereren dat er niet echt een paleobiologische oorzaak aan het bonebed ten grondslag ligt, maar puur een geologische, namelijk het transport van meerdere karkassen naar een depressie in het landschap. Maar waarom zouden we dan alleen maar *Triceratopsen* in dit bonebed vinden en niet bijvoorbeeld – de in die periode ook zeer talrijke – *Edmontosaurus*? Dit neigt toch wel naar een paleobiologische oorzaak en daarom is wellicht de meest voor de hand liggende oorzaak op dit moment het scenario van *minging* (afb. 10F). Hiermee wordt het proces bedoeld waar dieren vast komen te zitten in een vaak modderachtige substantie en vervolgens door uitputting of honger omkomen, een soort put des doods dus. Dit zou de zeer fijne korrelgrootte, het aanwezige organische materiaal en de vele kleine botten verklaren die dus niet zijn weggespoeld. Toch is ook deze hypothese niet honderd procent waterdicht, want bij *minging* zou je meer articulatie van botten verwachten en ook beschadigingen door het vertrap-pelen van botoppervlakken, en dit zien we beide niet. Mogelijk speelt de dunne zandlaag die door het onderste bonebed loopt hierbij een belangrijke rol vanwege periodieke instroom van water van een stroomgeul dichtbij.



Afb. 10. Verschillende tafonomische scenario's die het Naturalis *Triceratops*-bonebed zouden kunnen verklaren. Zie de tekst voor de uitleg.

Kortom, er zijn nog talloze onbeantwoorde vragen en er dienen dus nog veel meer aanwijzingen gevonden te worden voor een solide verklaring voor de tragedie van *Triceratopsen* van Naturalis. Alle suggesties zijn overigens welkom!

Het Dinolab en een blik in de toekomst

Het Naturalis *Triceratops* Bonebed is een belangrijke weten-



Afb. 11. Impressies van het proces van het veld tot in het lab. Dylan Bastiaans en Dirk Cornelissen graven een aantal ribben uit van de *Triceratops* van de bovenste locatie (A). Martijn Guliker en Anne Schulp brengen een gipspakket aan op één van de grote botten om veilig transport te garanderen (B). Na een Atlantische oversteek komen de botten in grote houten kisten aan in Naturalis (C). Na het uitpakken van de gipspakketten worden met tandartsboortjes, mesjes en kwastjes de botten zorgvuldig uitgeprepareerd, zoals Martijn Guliker hier voordoet in het Dinolab in het oude museum van Naturalis (D). Sander van der Deure, vrijwilliger bij het Dinolab, laat de vondsten aan het jonge publiek zien in het tijdelijke Dinolab tijdens de *T. rex* in Town tentoonstelling in het Pesthuis (E). Ondertussen gaat achter de schermen het prepareren en het onderzoek door, zoals hier te zien is in het Dinolab op de Draadbaan in Leiderdorp waar Koen Stein, paleontoloog aan de Vrije Universiteit Brussel, assisteert met het boren in een dijbeen van een *Triceratops* voor histologisch onderzoek (F). Foto's: Anne Schulp, Krista Leusink, Naturalis en Pim Kaskes.

schappelijke ontdekking, omdat het *by far* het grootste bonebed van *Triceratops* is dat tot op heden is gevonden. Hiermee is het ook in één klap het grootste Chasmosaurinae Bonebed ter wereld, een grote tak binnen de gehoornde dinosauriërs. Het bonebed kan een aanzienlijke bijdrage leveren aan het vervolmaken van de anatomische atlas van *Triceratops* omdat er veel botmateriaal is gevonden, waarvan een flink deel bestaat uit zeldzaam postcrania, en dat ook nog eens goed gepreserveerd is. Er zijn meerdere individuen aanwezig van verschillende

groeistadia; zodra de tafonomische puzzel is opgelost kan er ook met een zeer grote waarschijnlijkheid worden gezegd of er inderdaad sprake is van groepsgedrag in deze groep dinosauriërs en of we te maken hadden met een familie. Ten slotte kan het onderzoek aan het bonebed ons helpen bij het linken van verschillende botten aan het juiste individu, en hiermee kan het dus direct bijdragen aan het correct in elkaar zetten van de skeletten voor de museum-expositie. Dankzij intensieve samenwerking met de Universiteit Leiden, de Vrije Universiteit Amsterdam en de Vrije Universiteit Brussel hopen we met het Naturalis-team de komende maanden en jaren vele nieuwe ontdekkingen te doen. Het aantal afgeronde bachelor theses en de lopende master thesis-projecten laten zien dat er nog genoeg te ontdekken valt. In de tussentijd wordt er in het Dinolab aan de Draadbaan in Leiderdorp in ieder geval hard doorgewerkt (afb. 11) aan het prepareren van de botten zodat er bij de opening van het nieuwe Naturalis - om te beginnen - één skelet tegenover Trix zal staan.

Tot slot

Triceratops is één van de meest bekende en meest geliefde dinosauriërs bij jong en oud. Toch weten we nog eigenlijk verrassend weinig over deze gehoornde grazer uit het Krijt. Hoe ziet de anatomie van het skelet in elkaar? Hoe snel en op welke manier groeide *Triceratops*? Hoe oud konden ze worden? Wat aten ze precies? Leefden ze in hun eentje of in kuddes? Het

recent ontdekte en 3D-gedocumenteerde *Triceratops*-bonebed van Naturalis in Wyoming biedt ons een uitgelezen mogelijkheid om nieuw licht te werpen op een aantal van deze mysteries. Toekomstig geologisch en paleontologisch onderzoek zal flink bijdragen aan het reconstrueren van het onstuimige leven en de verloren wereld van deze iconische driehoorn.

Dankwoord

Wij zouden allereerst graag Donley en Nancy Darnell willen bedanken voor hun gastvrijheid en de mogelijkheid om al meerdere jaren achter elkaar opgravingen te doen op hun ranch in het oosten van Wyoming. Pete Larson en het team van Black Hills Institute worden bedankt voor hun assistentie bij de opgravingen en de berging en transport van de botten. Wij danken diverse sponsors van Naturalis Biodiversity Center voor het financieel mogelijk maken van de opgraving. Roeland Emaus, Luca Brunke en Eric Dullaart van de Faculteit Archeologie van de Universiteit Leiden worden bedankt voor hun hulp met het nauwkeurig 3D-karteren van het bonebed en de nabije omgeving. Leonie Portanger wordt bedankt voor haar bijdrage aan het geologisch onderzoek in het kader van haar bachelor-thesis op de VU. Wij bedanken de expeditieteams van de *Triceratops* opgraving en de vele vrijwilligers van het Dinolab hartelijk voor hun tomeloze inzet de afgelopen jaren tijdens het veldwerk en/of het preparaatwerk, en in het bijzonder Anne Schulp en Martijn Guliker voor het initiëren en coördineren van het project. Tot slot wordt de Gea-redactie bedankt voor de mogelijkheid om ons werk te publiceren in dit Gea-nummer.

Referenties

- Bastiaans, D., Guliker, M.D., Schulp, A.S. (2015). Reconstruction of a historically interesting *Triceratops* from the Lance Fm. of Wyoming. European Association of Vertebrate Paleontology, 13th Annual Meeting, Poland. 8-12 July. Program and Abstracts, 2015.
- Bastiaans, D., Trapman, T., Guliker, M., Kaskes, P., Schulp, A.S. (2016). Multigenerational assemblage of *Triceratops* from the Newcastle area, Wyoming, USA - an in-depth analysis of cranial and post-cranial ontogenesis. Journal of Vertebrate Paleontology, Program and Abstracts, 2016, p. 94
- Chin, K., Tokaryk, T.T., Erickson, G.M. and Calk, L.C., (1998). A king-sized theropod coprolite. Nature, 393(6686), p. 680.
- Eberth, D.A., Brinkman, D.B., and Barkas, V. (2010). A centrosaurine mega-bonebed from the Upper Cretaceous of southern Alberta: implications for behaviour and death events. In: *New Perspectives on Horned Dinosaurs: The Ceratopsian Symposium at the Royal Tyrrell Museum*, September 2007
- Fastovsky, D.E., and Bercovici, A. (2016). The Hell Creek Formation and its contribution to the Cretaceous–Paleogene extinction: A short primer: Cretaceous Research, 57, p. 368–390
- Fowler, D., Scannella, J., Goodwin, M., Horner, J. (2012). How to eat a *Triceratops*: Large sample of toothmarks provides new insight into the feeding behavior of *Tyrannosaurus*. Society of Vertebrate Paleontology, Program and Abstracts 2012, 32, p. 96.
- Fricke, H.C., Foreman, B.Z., & Sewall, J.O. (2010). Integrated climate model-oxygen isotope evidence for a North American monsoon during the Late Cretaceous. Earth and Planetary Science Letters, 289(1-2), p. 11-21.
- Hatcher, J.B., Osborn, H. F., & Marsh, O.C. (1907). The ceratopsia (Vol. 49). US Government Printing Office.
- Horner, J.R., Goodwin, M.B., & Myhrvold, N. (2011). Dinosaur census reveals abundant *Tyrannosaurus* and rare ontogenetic stages in the Upper Cretaceous Hell Creek Formation (Maastrichtian), Montana, USA. PloS ONE, 6(2), e16574.
- Johnson, K.R., Nichols, D.J., and Hartman, J.H. (2002). Hell Creek Formation: A 2001 synthesis: Geological Society of America Special Paper: 361, p. 503–510.
- Kaskes, P. (2016). Geologische mysteries van *Tyrannosaurus rex* ontrafelt – Deel 1: Historie van de Hell Creek badlands. Grondboor & Hamer, nummer 1, 2016, p. 20-24.
- Kaskes, P., Portanger, L.A., Schulp, A.S. (2016). Unravelling the history of a unique *Triceratops* graveyard from eastern Wyoming, USA. European Association of Vertebrate Paleontology, Program and Abstracts, 2016, p. 192.
- Kaskes, P., Brunke, L., Emaus, R., Bastiaans, D., & Schulp, A.S. (2017). A novel 3D visualization of dinosaur bonebeds: integrating geology, paleontology and archaeology. In Geological Society of America Abstracts with Programs (6 ed., Vol. 49).
- Keenan, S.W. and Scannella, J.B. (2014). Paleobiological implications of a *Triceratops* bonebed from the Upper Hell Creek Formation, Montana, Geological Society of America Special Paper, Boulder, Colorado: p. 349-364.
- Longrich, N. R., & Field, D. J. (2012). *Torosaurus* is not *Triceratops*: ontogeny in chasmosaurine ceratopsids as a case study in dinosaur taxonomy. PloS one, 7(2), e32623.
- Marsh, O.C. (1889). "Notice of gigantic horned Dinosauria from the Cretaceous", American Journal of Science 38: p. 173–175.
- Mathews, J. C., Brusatte, S. L., Williams, S. A., & Henderson, M. D. (2009). The first *Triceratops* bonebed and its implications for gregarious behavior. Journal of Vertebrate Paleontology, 29(1), p. 286–290.
- Portanger, L.A. (2016). Sedimentological analysis of the Darnell *Triceratops* Bonebed in eastern Wyoming, USA: reconstruction of the depositional environment and possible taphonomic scenarios. Bachelor Thesis, Vrije Universiteit Amsterdam.
- Scannella, J.B., & Horner, J.R. (2010). *Torosaurus* Marsh, 1891, is *Triceratops* Marsh, 1889 (Ceratopsidae: Chasmosaurinae): synonymy through ontogeny. Journal of Vertebrate Paleontology, 30(4), p. 1157-1168.
- Scannella, J. B., Fowler, D. W., Goodwin, M. B., & Horner, J. R. (2014). Evolutionary trends in *Triceratops* from the Hell Creek Formation, Montana. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(28), 10245-10250.
- Schulp, A.S. (2014). Een *Tyrannosaurus rex* voor Naturalis. Gea Tijdschrift, 47 (4), p. 97-99.

Toelichting op de voorplaat:

Overzicht van het *Triceratops*-bonebed van Naturalis Biodiversity Center in het oosten van de staat Wyoming, VS. Deze foto, gemaakt in de zomer van 2017 door de drone die is gebruikt voor het 3D-karteren van de site, laat twee locaties zien waar dinosaurusbotten zijn gevonden. Sinds 2015 graaft elk jaar een team van studenten en vrijwilligers van het Dinolab van Naturalis naar de resten van deze gehoornde beesten, wat heeft geleid tot het blootleggen van het grootste bonebed van *Triceratops* ooit ontdekt. Foto: Pim Kaskes