Handleiding Triceratops Demo

*Versie 30 september 2020*

# Introductie

De tentoonstelling 'Skull 21' vertelt het verhaal van de restauratie van Triceratops schedel nr. 21. De schedel maakt onderdeel uit van het Mineralogisch-Geologisch Museum op de tweede verdieping. Het fossiel is tussen 66 en 68 miljoen jaar oud en in 1891 opgegraven in Wyoming VS. De schedel is ongeveer 60% compleet. In 1950 is de schedel geruild met de faculteit Mijnbouwkunde voor fossielen uit Timor (Indonesie). Met de komst van de schedel was dit de eerste echte dinosaurier in Nederland. Jammer genoeg is het fossiel tijdens de tocht over de alantische oceaan zwaar beschadigd geraakt. Het is niet helemaal duidelijk waardoor dit ontstaan is, echter het vermoeden is er dat het schip in zwaar weer terecht gekomen is en de kist gevallen is. Dr. Kruizinga heeft tijdens zijn pensioen het fossiel zo goed als mogelijk geprobeerd te restaureren, zonder internet en met alleen 2D schetsen was dit een lastige taak. In die vorm heeft de schedel tot 2013 in het pand aan de Mijnbouwstraat gestaan.

Met de ontwikkeling van het Mineralogisch-Geologisch Museum (MGM), mogelijk gemaakt door sponsoren zoals Dietsmann, Shell, Fugro en Dyas, was er ook ruimte om de restauratie van Skull 21 opnieuw vorm te geven. In een samenwerking met Naturalis is 2018 begonnen met de huidige restauratie. Doel van deze restauratie was om de schedel wetenschappelijk correct, met de huidige kennis, te vormen en een eervolle plek te geven in het pand aan de Mijnbouwstraat. Uniek aan deze tentoonstelling is de focus op het restauratieproces waarbij ambacht en moderne techniek centraal staan.

De eerste stap in dit restauratie proces was het schoonmaken van de gefosiliceerde botten van gips en ijzerkwerk afkomstig uit de jaren '50. Tijdens deze eerste restauratie zijn de botten niet 'schoongemaakt', betekend dat er nog veel gefosiliceerd sediment (niet bot) materiaal in de holtes zat. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de oogkas waar het oog heeft gezeten, dit zal helemaal vol met versteend sediment. Met deze stap waren alle botten gereed om met een 3D scanner ingescand te kunnen worden. Parrallel aan dit traject is een team van paleontologen en 3D scanners naar Yale VS en Munchen Duitsland geweest om twee referentie Triceratops schedels in te scannen die als uitgangspunt gedient hebben voor het ontwerp van de missende botfragmenten. Door de twee referentie schedels met de Delft schedel te vergelijken zijn mathematische verhoudingen ontstaan waaruit een conclusie voor de uiteindelijke vorm van Skull 21 volgt.

Nadat alle missende onderdelen ontworpen waren zijn deze in speciale 3D printers geprint en aan elkaar gelijmd. De tentoonstelling maakt gebruik van een specifiek ontworpen lichtshow welke in Virtual Reality is getest. Door het toepassen van cutting edge licht technologie en de toepassing van Virtual Reality maakt dit een bijzondere en onderscheidene tentoonstelling voor jong en oud.

Bij de realisatie van dit project zijn zo'n kleine 30 personen betrokken geweest en veel onderdelen zijn bedacht en ontworpen door (oud)TU-studenten. Door deze unieke presentatie en de focus op ambacht en technologie past dit uitstekend bij het Science Centre Delft concept.

De Triceratops schedel is alleen op zaterdagen, zondagen en tijdens schoolvakanties als demo te bezichtigen. Het is niet mogelijk om de schedel los van een demo te bekijken vanwege zijn fragiele situatie.

Van dit hele proces is een documentaire gemaakt. Als voorbereiding kun je een rough-cut bekijken om een beter beeld te krijgen van het verhaal wat verteld moet worden. Aan de documentaire en het verhaal wordt blijvend gewerkt en het gaat nog wel even duren tot er een finale versie beschikbaar is. Je kunt de video hier bekijken (aub niet delen):

<https://vimeo.com/455850584/d61fe8fb96>

# Voorbereiding

*De afkorting MKZ-1 staat voor Mekelzaal 1 - de ruimte waar de Triceratops schedel staat*

1. Haal de toegangspas en afstandsbedieningen voor de demo van de Triceratops op bij de balie
2. Open de deur naar MKZ-1 met de pas
3. Zet met de afstandsbedieningen
   1. De beamer aan
   2. De verlichting en techniek aan (alle 3 de knoppen aan drukken)
4. Opstarten duurt ongeveer 4 – 5 minuten
5. Zet alle algemene verlichting uit en verduister de ramen
   1. Links van de deur bij MKZ hangt het paneel voor het uitschakelen van de algemene verlichting
   2. De ramen die naar buiten kijken kunnen worden verduisterd bij ditzelfde paneel
6. De bediening van de demo gebeurt met jouw smartphone via een speciale website. Om dit te kunnen bedienen moet je het volgende doen:
   1. Connect in MKZ met het Wifi **Triceratops**
   2. Vul het wachtwoord in **SciCenTriTops**
   3. Ga naar de website <http://192.168.200.2/>
   4. Druk op "restart" om de demo te resetten naar zijn uitgangspositie
7. Leg de afstandsbedieningen in MKZ neer voor later gebruik tijdens de demo

# Instructies demo

## Stap 1: Groepen

In verband met de Corona richtlijnen kunnen maximaal 2 huishoudens per Triceratops demo deelnemen. Per huishouden kan dit variëren van 1 t/m 5 deelnemers. Bij huishoudens met meer dan 5 deelnemers kan er geen tweede huishouden deelnemen aan deze demo. Maximaal kunnen er dus 10 personen deelnemen tijdens 1 demo. Houdt met twee zaken rekening bij het ophalen van groepen:

* **LET OP!** Personen die last hebben van snel flitsende verlichting kunnen niet deelnemen aan deze demo! De stroboscoop kan o.a. epileptische aanvallen oproepen
* **LET OP!** Houdt aub 1,5 meter afstand tussen de twee huishoudens om de verspreiding van Corona tegen te gaan

## Stap 2: Route

Haal maximaal 2 huishoudens op bij de entree van Science Centre Delft en neem ze mee naar boven. Ga nog niet naar binnen bij MKZ maar laat ze op de gang, naast de trap, wachten! Informeer de bezoekers dat jij alles klaarzet en snel terug bent.

## Stap 3: Klaarzetten

Verduister de zonweringen bij de deuren tussen MKZ 1 en MKZ 2. De linker en rechter zonwering gaat mechanisch (met de hand), de middelste zonwering gaat elektronisch via de afstandsbediening. **LET OP!** Check of de deuren écht goed dicht zitten, anders vallen ze open en gaat de zonwering kapot.

Start je smartphone op en bezoek de website zoals in de voorbereiding staat omschreven. Selecteer nogmaals "restart" om de demo te resetten.

## Stap 4: Introductie

Ga naar de wachtende groep en informeer de twee huishoudens over het volgende:

*“Jullie krijgen zo een 66 miljoen jaar oude Triceratops schedel te zien die de afgelopen twee jaar gerestaureerd is. Raak de schedel aub niet aan. Je mag wel foto's maken, hier is aan het einde van de demo tijd voor. We lopen stap voor stap door de ruimte, wacht aub op mijn instructies voordat je verder loopt.”*

## Stap 5: Demo

Neem de twee huishoudens mee naar binnen en positioneer ze op de aangewezen plaatsen voor het geven van de uitleg. Doorloop de verschillende scenes. Door op je smartphone next te selecteren start de volgende scène. In cursief staan teksten die je kan vertellen aan de bezoeker.

### Scenes show

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Scene nr** | **Projecties/ Animaties** | **Omschrijving** |
| Restart | UIT | Alles staat uit. |
| Scene 1 | Geen Projectie | Voorbereiden van de ruimte (smartphone reset & verduisteren tussen MKZ 1 en MKZ 2, aanzetten van beamer) |
| Scene 2 | Projectie 1 - logo | Je loopt binnen met de groep en het logo van Skull 21 tentoonstelling wordt op het doek geprojecteerd. Vraag de bezoekers om op de juiste posities te gaan staan. |
| Scene 3 | Geen Projectie | Je staat met de groep bezoekers bij de entrée en ziet het fossiel nog niet. Doormiddel van diverse lampen wordt er een schaduw op het doek geprojecteerd. Er moet niet al te veel verteld worden, het is indrukwekkend genoeg. Laat het schaduwspel 2-3 keer zijn cyclus doorlopen.  *“Voordat we het echte fossiel gaan bekijken, ga ik jullie eerst nog wat vertellen over Triceratopsen aan de hand van wat animaties”* |
| Scene 4 | Projectie 2 - de triceratops als soort | *"Triceratops was een enorme dinosauriër die 66 miljoen jaar geleden leefde in de huidige Verenigde Staten, en was een van de laatste dino soorten.* ***Triceratops betekent letterlijk drie hoorn gezicht, en het was een van de zwaarste dino’s van zijn tijd, met één van de grootse schedels. Triceratops woog bijna 9000 kg, bijna 2 keer zo veel als een T-rex! Verder denken onderzoekers dat de Triceratops vooral in zijn eentje leefde****, maar uit recente vondsten is gebleken dat* ***ze ook in kuddes geleefd kunnen hebben,*** *net als bijvoorbeeld olifanten****. De schedel die wij hier hebben staan is een van de grootste Triceratops schedels ooit gevonden. Hij is al 30% groter*** *dan de referentie schedels uit Munchen en Yale, later hier meer over”* |
| Scene 5 | Projectie 3 - habitat | *"****Triceratops was een herbivoor****, wat planteneter betekend.* ***Hij at de stugge en stevige struiken die laag boven de grond groeiden, zoals Varens en Palmen****.* ***Hij gebruikte zijn scherpe snavel om deze taaie planten af te snijden, en met zijn rijen tanden sneed hij alles in kleine stukjes.*** |
| Scene 6 | Projectie 4 – wapenrusting en leven | *"Dat het een planteneter was zou je misschien niet in eerste instantie zeggen als je naar hem kijkt. Vinden jullie niet* ***dat hij er angstaanjagend uit ziet, met zijn enorme hoorns, scherpe snavel en zijn grote schild****? Deze had hij aan de ene kant om minder de kans te hebben om opgegeten te worden door andere dino’s.* ***Hij leefde natuurlijk samen met de T-rex, waar hij af en toe ruzie mee had, en daar moest hij zich goed tegen kunnen verdedigen****. Of was* ***het ook om indruk te maken op zijn soortgenoten of jagende dino’s af te schrikken?*** *Onze Triceratops is erg groot, sterk en oud geworden, wat wel* ***betekend dat hij kon zich goed kon verweren tegen andere dino soorten.*** *Nu vraag je je af, hoe zou onze Triceratops om het leven zijn gekomen? Dat weten we niet zeker. Een mogelijkheid was dat ze ziek waren, gestorven door ouderdom,* ***of dat de Triceratopsen gedood werden door jagende dino’s."*** |
| Scene 7 | Geen projectie | Bij deze scene worden speciale LED lampen gebruikt om de schedel een rode kleur te geven. Hierdoor is de outline van de schedel goed te zien en is er bijna geen verschil te zien tussen de originele botfragmenten en de 3D print. |
| Neem de bezoekers mee van hun positie voor het doek naar de openruimte in de buurt van de schedel. **Let op!** Dat ze voldoende afstand van elkaar houden en dat de kolommen hun zicht niet belemmeren. | | |
| Scene 8 | Geen projectie | Optioneel na plaatsen (bij meer volwassen/geïnteresseerden bezoekers): *“Deze kleur rood is de juiste golflengte licht om de kleuren van het bot (bruin) en 3D prints (grijs) op elkaar te laten lijken. Het aanpassen van de LEDS met dit specifieke spectrum is pas recent mogelijk.”*  Na het initiële WOW effect van de roodkleurige schedel kun je naar deze scene overschakelen. De dino wordt in zijn volledigheid uitgelicht en het wordt duidelijk wat 3D print is en wat echt bot is. Geef de bezoekers even de tijd om te verwerken wat ze zien.  *“Dit is de schedel van onze Triceratops. De schedel die je ziet is maar voor 60%, iets meer dan de helft, écht bot. De rest is allemaal met een 3D printer zelf gemaakt. Kunnen jullie mij vertellen welk onderdeel nep is en welke écht bot?”* |
| Scene 9 | Geen projectie | Uitlichten van alleen de botfragmenten en introductie geven in waar alles is begonnen  *“Al het bruine wat je hier nu ziet is écht fossielen bot van de schedel. Dit is al ruim 66 miljoen jaar oud. Ik ga jullie nu eerst iets vertellen over waar deze schedel is gevonden en hoe hij in Nederland is terecht gekomen.”* |
| Scene 10 | Projectie 5 – Fossiel en vindplaats | Fossiel gevonden in 1891 in Wyoming, half onder grond half boven grond. Geruild met faculteit mijnbouwkunde TU Delft.  *“Eind 19e eeuw was er* ***in het Noorden van Amerika een “bone war” aan de gang****. Dit was in de tijd van de cowboys en indianen, waarin er een strijd plaats vond om wie de meeste dino skeletten konden vinden. Dit fossiel is gevonden* ***in Wyoming en is fossiel nummer 21*** *die gevonden daar is.* ***Er werden daarnaast niet 1, maar 4 fossielen schedels gevonden, waarvan onze schedel er een van is.******Deze vondst heeft geleid tot de ontdekking van de Triceratops!*** *De fossielen schedel heeft vervolgens in een opslag gestaan in het Yale Peabody Museum.*    ***Een professor van de TU Delft had toevallig een goede relatie met het Peabody museum. Uiteindelijk is een collectie bestaande uit fossielen en mineralen uit Indonesië geruild met de fossielen schedel van de Triceratops ruim 70 jaar geleden****. Toen dit gelukt was, en de schedel naar Nederland zou komen, werd het de* ***eerste dinosaurus schedel van Nederland****!* |
| Scene 11 | Projectie 6 – Beschadiging en restauratie | Transport naar Nederland, beschadigd geraakt en met beperkte middelen gerestaureerd. Tot 2013 hier gestaan en nu weer in ere hersteld.  *“****Er ging tijdens het transport van Amerika naar Nederland alleen iets goed mis. De schedel was heftig beschadigd geraakt*** *en kwam aan in 600 stukjes. De professor Kruizinga heeft toen enorm zijn best gedaan om de schedel te herstellen naar hoe hij toen dacht dat een Triceratops er vroeger uit zag met gips.* ***Hij zag er wel heel anders uit dan nu****.* ***Kruizinga heeft erg goed zijn best gedaan met het restaureren, en dat heeft hij goed gedaan, en dat terwijl hij toen veel minder informatie had over hoe een Triceratops er mogelijk uit heeft gezien.*** *Één van de dingen die direct opvalt zijn de dichte oogholtes, deze zaten nog vol met sediment en grond. Hier zie je nu een 3D scan van de schedel hoe hij er toen uit zag.”* |
| Scene 12 | Geen projectie - Fossielen bot uitgelicht | Hoe doe je dat dan in ere herstellen en met nieuwe technologie een Triceratops restaureren?  *“Dan is de vraag, hoe doen we zo’n Triceratops restaureren? Wij zijn begonnen met het compleet inscannen van onze eigen schedel.”* |
| Scene 13 | Geen projectie – stroboscoop | *“Dat inscannen dat gaat eigenlijk door constant foto’s te maken van de fossielen schedel.”* |
| Scene 14 | Projectie 7 – 3D scannen en referentie schedels | Begint met 3D scannen van botfragmenten. En scannen van schedels als referentie voor het ontwerpen van de missende onderdelen.  *“Deze scan noemen wij een 3D scan. Een lamp laat dus constant een rooster van licht vallen op de schedel. Camera’s zien vervolgens hoe het licht wordt vervormd en zo kan een 3D model worden gemaakt van de schedel.* ***Ook hebben wij twee andere schedels van Triceratopsen gescand, waarvan eentje in München staat en eentje in Yale.*** *Hier zie je hoe in München een andere schedel wordt ingescand. Deze 3D modellen zijn de basis geweest om te kijken hoe onze Triceratops er eigenlijk uit zou gezien moeten hebben.”* |
| Scene 15 | Projectie 8 – Referenties en pointcloud | Als je de referenties dan hebt kun je bepaalde punten bepalen. Zo gehete “pointcloud” waarbij je maatvoering kunt bepalen tussen deze punten. Door deze met onze schedel te vergelijken krijg je mathematische verhoudingen en kun je aannames maken hoe hij er uit gezien heeft. Het blijft dus altijd een interpretatie van de werkelijkheid.  *“****Vervolgens zijn we bepaalde delen van de schedels uit München en Yale gaan vergelijken met onze schedel****. Hiervoor zijn een* ***aantal referentiepunten gebruikt, een zogehete “Pointcloud”.*** *Een voorbeeld is de hoogte van het nekschild of de stand van de hoorns.* ***Ook keken we naar de afstanden tussen de onderdelen, en vergeleken die met wat die afstand zou zijn op onze schedel****. Dit veranderden weer ons digitale 3D model. Zo kregen we uiteindelijk een 3D model van hoe onze schedel er correct uit zou moeten zien.”* |
| Scene 16 | Geen projectie | De lampen gaan nu met focus op alle 3D prints. Hoe kom je van een digitaal ontwerp naar een fysiek object. Dat doen wij met 3D printers  *“****Zoals jullie zien was het fossiel helemaal niet volledig.*** *Sterker nog, een groot deel van de schedel mist nog, wat al die miljoenen jaren geleden tijdens de begraving waarschijnlijk is weggespoeld.* ***Doordat we een 3D model van de schedel hadden, wisten we welke delen er misten****.”* |
| Scene 17 | Projectie 9 – 3D printen | Animatie hoe je van een digitaal ontwerp naar een 3D print komt. Inclusief beelden uit de documentaire over 3D prints  *“****Eerst is begonnen met het schoonmaken van de schedel van het gips van de vorige restauratie en losse grond, zand en sedimentresten.*** *Zo bleek de* ***oogholte vol met sediment te zitten wat door een professionele restaurateur allemaal is weggehaald****. Uiteindelijk bleef er aan echt fossielen bot een kleine 40% van de schedel over.* ***De missende onderdelen zijn aan de hand van het 3D model ontworpen*** *zodat ze naadloos aansluiten op de stukken fossielen bot.* ***Nadat deze schedel helemaal compleet was in het 3D model zijn de missende onderdelen 3D geprint.*** *Hierbij wordt steeds een klein laagje plastic over elkaar heen geprint, waardoor grote onderdelen ontstonden. Die onderdelen passen precies op het fossiel,* ***en na het in elkaar zetten van de missende puzzelstukjes was de schedel in zijn volle glorie hersteld! Zo hebben wij onze Triceratops hersteld volgens de nieuwste technieken van de TU Delft, wat hem heel bijzonder maakt****.”* |
| Scene 18 | Geen projectie | Als je dit dan allemaal samenvoegt kom je tot deze schedel. Nu gaan alle lampen regulier aan en is er nog tijd om wat details rondom de schedel toe te lichten. Ook is er de mogelijkheid voor een foto. Uitleg over de details staat onder deze tabel.  Detail 1: Wapenuitrusting  Detail 2: Brain case  Detail 3: Kaaksectie |
| Scene 19 | Geen projectie | Laatste scene is het verlaten van de ruimte. De schedel wordt donker en de vloer wordt aangelicht zodat er een cue is dat men weg moet. |

### Details

#### Detail 1: Wapenuitrusting

Dit Triceratops fossiel is een van de grootste ter wereld. Reptielen en Dinosaurussen groeiden hun hele leven lang door. Onze Triceratops is erg oud geworden, en dat is te zien aan de omvang van de schedel, die ruim 1.80 m lang is. De grote omvang is onder andere te zien aan de enorm grote hoorns en snavel die onze volwassen Triceratops nodig had om te overleven.

De hoorns zijn gemaakt zodat Triceratops zichzelf kon verdedigen en beschermen tegen aanvallen van andere dinosauriërs. Het kon ook een manier zijn voor de Triceratops om er afschrikwekkend uit te zien, of om soortgenoten te imponeren.

De enorme snavel was erg geschikt om taaie planten zoals palmen en varens af te knippen, dat als voedsel diende. Deze afgeknipte planten werden dan in kleine stukjes gesneden door zijn scherpe tanden.

#### Detail 2: Brain case

De brain case (brein doosje) is het deel van de schedel waar de hersenen van Triceratops in zaten. Omdat dit deel de hersenen moest beschermen, was het erg sterk en solide. Daardoor is dit deel van de schedel weinig vervormd nadat die zo lang begraven is geweest, terwijl andere delen van de schedel meer zijn vervormd. Het is over al die miljoenen jaren mooi bewaard gebleven. Dat maakt het erg bijzonder, zeker als je je bedenkt dat zo’n fossiel enorme overstromingen, veel modder en zand heeft moeten doorstaan.

Doordat deze Triceratops zo oud is geworden, en zijn schedel zo groot, kun je aan de binnenkant van de brain case veel details zien. Je ziet veel lijntjes en verbindingen, die laten zien waar bijvoorbeeld de hersenen verbonden waren met de rest van de schedel. Ook zie je een grote knobbel, wat het deel was waaraan het hoofd aan het lichaam vast zat.

#### Detail 3: Kaaksectie

In dit deel van het fossiel zie je de tanden zitten van de Triceratops. Dit onderdeel is goed bewaard gebleven, wat erg bijzonder is. Waarschijnlijk zaten de tanden tijdens de overspoeling nog in het tandvlees, omdat deze Triceratops pas kort voor de overspoeling om het leven is gekomen. Hierdoor zijn de tanden niet zijn weggespoeld. De kaak met de rij tanden laat zien hoe de dino vroeger zijn tanden wisselde. Je kunt zien dat er meerdere tanden onder elkaar zitten. Triceratopsen wisselden

hun hele leven lang hun tanden, net zoals bijvoorbeeld Haaien of Krokodillen.

hun hele leven lang hun tanden, net zoals bijvoorbeeld Haaien of Krokodillen. Wanneer de tanden gewisseld moesten worden stonden de nieuwe al klaar! Door het goed bestuderen van dit gebit kunnen onderzoekers veel meer vertellen over hoe Triceratopsen 66 miljoen jaar geleden leefden, zijn voeding en over de laatste dagen van zijn leven.

## Stap 6: Bezoekers wegbrengen

Breng de bezoekers vervolgens terug naar het Science Centre. Let op dat zij 1,5 meter afstand aanhouden tussen de huishoudens.

# Afsluiten

Bij het afsluiten doe je de volgende stappen:

1. Druk op “shutdown” in het menu bij de telefoon
   1. De raspberry pi (computer) zal nu gaan afsluiten, dit kan je ook zien op de beamer
2. Doe alle zonwering naar boven bij de 3 deuren tussen MKZ 1 en MKZ 2
   1. De linker en rechterdeur kan je handmatig naar boven halen
   2. De middendeur kan met de afstandsbediening voor de zonwering
3. Doe de zonwering van de ramen naar boven bij het bedieningspaneel bij de deur van de entree van de mekelzaal
4. Als de raspberry pi is afgesloten (scherm is weer zwart) kan je de beamer uitzetten met de afstandsbedieing
5. Zet alle verlichting en techniek uit met de andere afstandsbediening (alle knoppen uit in drukken)
6. Breng alle materialen terug naar de balie

# Coronamaatregelen

Zoals eerder gemeld kunnen er twee huishoudens maximaal per demo meedoen. Hier staat op de grond gemarkeerd waar zij mogen staan. In de eerste maanden na opening van Corona zal er een extra student ingeroosterd zijn die de logistiek regelt. Hij/zij doet:

* Ophalen van bezoekers
* Bezoekers plaatsen voor de deur
* Bezoekers meenemen terug naar het Science Centre via MKZ 2

Tijdens de eerste maanden zijn er ook kleine aanpassingen aan de demo om de snelheid erin te houden:

* Bij het vrij rondlopen aan het einde bespreek je geen details. Je kan de informatie natuurlijk wel gebruiken als er vragen komen over de Triceratops schedel.

# Leerdoelen

Er zijn een aantal thema’s waarvan we willen dat de bezoeker deze mee naar huis neemt. Het is dus belangrijk dat in je persoonlijke verhaal deze leerdoelen bewaard blijven.

1. Verhaal van de restauratie, combinatie van moderne technieken en ambacht om de schedel in ere te herstellen
2. Bijzonderheid van onze schedel

# Achtergrondinformatie

Skull 21 is een schedel van een Triceratops Prorsus een dinosauriër die 68 tot 66 miljoen jaar leefde in het middenwesten van de huidige Verenigde Staten. Het verhaal van Skull 21 is er een van bezeten mannen. Voor het grootste gedeelte van zijn bestaan, de schedel is minstens 66 miljoen jaar oud, is rimpelloos voorbijgegaan maar vanaf 1870 begint een turbulente fase in het leven van deze Triceratops. Het start met twee Amerikanen Edward Drinkwater Cope en Othniel Charles Marsh en de ‘Bone War’.

## Cope en Marsh en de Bone War

De Bone War speelt zich af in he laatste kwart van de 19e eeuw, de begindagen van de paleontologie (wetenschap van fossielen), in het toen nog (letterlijk) Wilde Westen toen daar de eerste dinosauriërs werden ontdekt. Cope was een religeuze onafhankelijke onderzoeker en Marsh een atheïst, stichter van het Peabody Museum (onderdeel van Yale) en de eerste hoogleraar paleontologie in de Verenigde Staten waren tegengestelde personen; Cope had weinig formele opleiding als paleontoloog, in tegenstelling tot Marsh; Marsh was langzaam en bedachtzaam, Cope intuïtief, opvliegend en had een enorme productie van artikelen hij schreef er zo’n 1400 over allerlei onderwerpen. Wat ze wel gemeen hadden ze waren kundig - Cope was een erkend expert op het gebied van fossiele vissen, reptielen en amfibieën, Marsh op het gebied van fossiele paarden – ze waren bloedfanatiek, vaak onaangenaam voor hun omgeving en beide hebben er een fortuin opgestookt aan de strijd wie de meeste botten kon verzamelen en wie de meeste soorten kon benoemen. Uiteindelijk heeft geen van beiden de strijd gewonnen, Cope is de man met ideeën maar Marsh heeft meer dinosauriërs ontdekt en een naam gegeven, het is vooral nog steeds een gênante periode voor de Amerikaanse wetenschap.

Gedurende deze strijd wordt in 1891 Skull21 in opdracht van Marsh opgegraven door John Bell Hatcher bij Lance Creek in Wyoming. In 1889 hoort Hatcher van een paar fossiele hoorns gevonden bij Lusk, Wyoming. Hatcher wordt naar de plek gebracht waar de hoorns gevonden zijn en ziet daar een nog half ingegraven schedel. In de jaren die daar opvolgde graaft hij (delen van) 32 schedels op, waaronder Skull21.

Skull21 speelt al snel een ondergeschikte rol in een eerste beschrijving van de vondsten wordt de schedel nog wel genoemd als een exemplaar van een Triceratops Brevicornus maar in de vervolg publicaties van Hatcher wordt er met geen woord meer over gerept. Met de dood van Hatcher in 1906 verdwijnt Skull 21in de vergetelheid, waar het pas begin jaren ’50 van de vorige eeuw weer uitkomt als professor dr. Jan Umbgrove zich in New Have meldt.

## Jan Umbgrove en Pieter Kruizinga

Jan Umbgrove was een hoogleraar geologie bij de toenmalige faculteit Mijnbouwkunde van de Technische Hogeschool. In 1950 was hij op bezoek bij het Peabody Museum in New Haven. Daar had professor Dunbar hem rondgeleid en Umbgrove had zijn zinnen gezet op het verkrijgen van een dinosauriër schedel voor het Mineralogisch Geologisch Museum van de faculteit: “What we need is show specimens, large Dinosaur bones, skulls, etc.” zoals hij aan Dunbar schrijft. Umbgrove wil fossielen uit de (internationaal) beroemde Timorcollectie inzetten als ruilmiddel. Een mogelijke ruil heeft geen prioriteit bij Yale en het is Umbgrove die druk blijft uitoefenen. In 1951 krijgt Umbgrove een hersenbloeding en komt dr. Pieter Kruizinga de voormalige curator van het MGM uit zijn pensioen terug om een deel van de taken van Umbgrove over te nemen.

Als Yale nog geen aanstalten maakt om de ruil te bezegelen, zet Kruizinga een aantal kisten met fossielen uit de Timorcollectie aan boord van de Rijndam richting New Haven. Daar zijn ze verrast met de fossielen en worden ze gedwongen om actie te ondernemen. De schedel die Umbgrove oorspronkelijk wilde hebben (een Torosaurus) blijkt Yale toch niet te willen afstaan. De keuze valt op skull 21 die al 50 jaar vergeten in een hoekje van de opslag ligt. Dunbar voelt al aan dat – gezien de kwaliteit van de Timor fossielen – de ruil niet evenwichtig is. Uiteindelijk komt daarom ook een schedel van een Protoceratops richting Delft.

Probleem is wel dat sinds de vondst van Skull 21 in 1891 dat er niks aangedaan is, de schedel is nog ongeprepareerd. Pas halverwege 1954 kan preparateur Allderige de schedel restaureren. Later dat jaar wordt deze richting Delft gestuurd. Het verhaal is nog niet uit, behalve dat professor Umbgrove begin 1954 overlijdt en de komst van ‘zijn’ Triceratops niet meer mee zal maken, ondergaat Skull 21 een ruwe reis van New Haven naar Delft. Een combinatie van een ruwe zee en onzorgvuldig transport van de haven naar het museum in Delft zorgt ervoor dat de schedel ernstig beschadigd en in brokken uiteenvalt. Dr. Kruizinga is daarna nog lange tijd bezig om de schedel opnieuw te restaureren en pas in 1956 kan Skull21 aan het publiek getoond worden. De schedel staat de volgende 60 jaar in opgepropt tussen de mineralen en gesteentenkasten van het MGM.

Naast Skull21 haalde Umbgrove ook een exemplaar Protoceratops bij het American Museum of Natural History, dino-eieren en een Ichtyosaurus uit Solnhofen naar Delft. De grote vraag is waarom wilde Umbgrove juist deze dinosauriërs hebben, was het uit opportunistische redenen – hij kon deze fossielen bemachtigen – of omdat de Protoceratops en Triceratops leefden in de laatste fase voor het uitsterven van de Dinosauriers een tijdperk die het Maastrichtien heet, vernoemd naar de plek waar hij is opgegroeid waarover hij zijn proefschrift heeft geschreven, waaruit hij als jongeling een heel museum met fossielen bij elkaar verzameld heeft.

## Skull21 als een Phoenix uit de as herrezen

In de periode direct nadat de hele collectie van het Mineralogisch Geologisch Museum werd overgedragen aan Naturalis ontdekte Naturalis zelf een aantal Triceratopsen in Amerika. Dit was aanleiding om de schedel terug naar Delft te halen en deze volgens de nieuwste inzichten en technieken te restaureren, het MGM is ten slotte onderdeel van de Technische Universiteit Delft. Skull 21 herees als een phoenix uit as.

De uitgangspunten voor de restauratie waren al snel vastgesteld:

1. Het moet duidelijk zichtbaar zijn wat oorspronkelijk materiaal is en welke delen gerestaureerd en ingevuld met nieuw materiaal zijn.
2. De geschiedenis van de Triceratops moet zichtbaar zijn, laat de gevolgen van 66 miljoen jaar begraven zien. Dit uitgangspunt heeft nog flink wat discussie opgeleverd in het restauratieteam. De rechteroogkas was door de begravingsgeschiedenis ingedrukt, dit gaf de Triceratops een wat bozige gemene uitdrukking. Het was wel makkelijk te herstellen. Dit is uiteindelijk wel gebeurd, maar in het algemeen is er zeer terughoudend gereconstrueerd.
3. De restauratie wordt uitgevoerd met behulp van moderne technieken zoals scannen 3D modelleren, 3D printen.

Als eerste stap die ondernomen is dat een voormalige stagiair die al aan de schedel had gewerkt de opdracht kreeg om zoveel mogelijk achtergrondmateriaal over de schedel te verzamelen, in het Peabody Museum in New Haven de destijds – in 1956 – achtergebleven fragmenten van Skull21 op te halen en ervoor te zorgen dat de referentieschedel – het genotype – van de Triceratops Prorsus die in het museum staat te laten scannen. In München is vervolgens de schedel die vlakbij Skull21 is gevonden – ook ingescant, terwijl de klassieke preparateur alle oude gips en pleister verwijderde en nog wat overtollig sediment dat de zijn collega’s destijds hadden laten zitten weggehaald. Vervolgens zijn ook alle onderdelen van Skull21 gescant, de ingescande referentie schedels opgemeten dit vergeleken met de maten van Skull21 en op basis hiervan is de schedel virtueel in 3D gereconstrueerd. Vervolgens zijn de missende onderdelen virtueel van een botstructuur voorzien en zijn deze delen 3D geprint. De preparateur heeft deze onderdelen in gepast en van de schedel een geheel gemaakt.

De restauratie van Skull 21 heeft een totaal opgefriste Triceratops Prorsus met een nieuw uiterlijk opgeleverd:

1. Het exemplaar blijkt groter dan ooit gedacht
2. Het nekschild steekt niet meer plat naar achteren, maar is gebogen en staat rechtop als een kraag.
3. De hoorns staan niet meer recht overeind maar schuin naar voren
4. De schedel is veel groter geworden, de neus en snavel zijn op basismetingen aan andere schedels vergroot. Had Skull 21 eerst een centenbak die is nu verdwenen, en
5. De schedel is verder uitgeprepareerd, er is meer sediment verwijderd en dat heeft verrassende resultaten opgeleverd: niet alleen een mooi herstelde oogkas en zijn de doorgang van de oogzenuw naar de hersenen blootgelegd, maar ook kwamen er onder het sediment mooie rijen tanden tevoorschijn. CT-scans van de kaken hebben laten zien dat er nog meer rijen tanden in de kaak zitten, een volgende stap in het onderzoek is monsters nemen van de rijen tanden. Uit de chemische samenstelling kan het dieet van de Triceratops tijdens zijn/haar leven worden gereconstrueerd.

Verder wordt de schedel nu in een meer natuurlijke positie tentoongesteld en heeft hij een spectaculaire belichting gekregen. Daarnaast is Skull 21 van soort veranderd: was de schedel oorspronkelijk geclassificeerd als een Triceratops Brevicornus is het na een herziening van de soortindeling in de tachtiger jaren van de vorige eeuw benoemd als een Triceratops Prorsus.

Door de grote van de schedel weten wij wel dat het om een volwassen wat ouder exemplaar gaat, maar hoe oud en was het een mannetje of een vrouwtje? Wat wij wel zeker weten – en dat is wellicht teleurstellend – is dat Skull21 er zo niet heeft uitgezien, de schedel hoort in ieder geval een centimeter of 10 breder te zijn. Door de begravingsgeschiedenis van de schedel is deze helemaal ingedrukt en zijn er delen van de schedel verbrijzeld en het botten in duizenden kleine stukjes uiteengevallen. Deze kleine fragmenten zijn nu gevangen in een gesteente matrix die deel uitmaakt van het fossiel.

Ook op andere plekken zien wij dat de schedel is ingedrukt: aan de achterkant zien wij dat het schild naar beneden is gedrukt, de hele rechterkant is ingedrukt zodat de kaak eigenlijk niet goed meer past. Conclusie als onze kennis weer vermeerderd is onze technieken beter dan komt er weer een nieuwere versie van Skull21: een uitdaging voor toekomstige onderzoekers, technici en preparateurs.

## Wie was de Triceratops?

Triceratops was erg groot. Hij kon negen meter lang, drie meter hoog en dertien ton zwaar worden. Hij had een enorme kop, een korte stevige nek, een gedrongen smalle romp en een korte staart die een beetje afhing maar niet over de grond sleepte. De huid was bedekt met schubben waarvan de kleur onbekend is. Het lichaam rustte op vier poten die zeer zwaar gespierd waren. De stand van de achterpoten was recht. De voorpoten stonden meer gespreid met de ellebogen iets naar buiten gericht. De binnenste vingers en tenen droegen kleine hoefvormige nagels. De kop was langwerpig. Op de achterkant van de schedel groeide een breed beenschild dat tot over de nek en schouders liep. Boven de ogen stonden twee lange hoorns. Een derde, kortere, hoorn was op de neus geplaatst. De smalle snuit droeg een scherpe hoornsnavel. Daarmee rukte Triceratops struiken uit de grond die door scherpe rijen kleine tanden in stukken geknipt werden. Die werden meteen doorgeslikt en in de grote buikholte verder verteerd.

De geleerden zijn het er niet over eens waartoe het nekschild en de hoorns dienden. Ze kunnen gebruikt zijn om zich te verdedigen tegen de gigantische Tyrannosaurus rex, het belangrijkste roofdier dat in het leefgebied van Triceratops voorkwam. Die mogelijkheid heeft Triceratops tot een van de bekendste dinosauriërs bij het grote publiek gemaakt. Maar sommige wetenschappers denken dat er alleen onderling mee gevochten werd, om te bepalen wie het sterkst was. Anderen geloven dat ze slechts bedoeld waren om mee te pronken of om de verschillende soorten uit elkaar te houden.

In het gebied in Noord-Amerika waar hij leefde, behoorde Triceratops tot de talrijkste gewervelde planteneters. Hij werd vermoedelijk 66 miljoen jaar geleden aan het eind van het Krijt uitgeroeid door de inslag van een grote meteoriet. Daarmee was Triceratops een van de laatste grote dinosauriërs.

## Algemene bouw en grootte

Triceratops is een enorm dier, een van de grootste bekende ceratopiërs, met de afmetingen van een olifant. De bouw is echter meer die van een neushoorn, waarmee het geslacht vaak vergeleken is: een grote lange maar smalle schedel, stevige nek, gedrongen romp en vrij korte poten waarvan de knieën en ellebogen gebogen worden gehouden zodat ermee gerend kan worden. De horizontale staart draagt nog aan de gelijkenis bij want die is nogal kort voor een dinosauriër. Een twistpunt is de laatste jaren de stand van de voorpoten geweest. Traditioneel werden die in een spreidstand weergegeven, net als bij de huidige reptielen. Robert Thomas Bakker wees erop dat het dier dan nauwelijks enige vaart had kunnen maken. De romp is namelijk tamelijk stijf en kon niet zijwaarts buigen om de paslengte te vergroten. De kop van het dijbeen is daarbij cilindervormig en past zo in het heupgewricht dat het de achterpoten recht onder het lichaam dwingt. Die hadden dus veel grotere passen kunnen maken dan uiteen geplaatste voorpoten. Volgens hem stonden dus ook die laatste recht onder de romp. De musculatuur was daarbij heel zwaar. Zo zou het beest ondanks zijn gewicht in galop een snelheid van wel vijftig kilometer per uur hebben kunnen bereiken. Er wordt echter ook gedacht dat de beweeglijkheid van het schouderblad onvoldoende was om te galopperen en dat de vorm van de borstkas en opperarmbeen tot een spreidstand dwongen. De laatste jaren lijkt men tot een compromis te komen: de voorpoten stonden weliswaar iets met de ellebogen naar buiten, ongeveer 20°, maar de handen werden toch dicht bij de middenlijn geplaatst, wat ook bewezen wordt door sporen.

De exacte afmetingen van Triceratops zijn lastig vast te stellen omdat er weinig volledige skeletten bekend zijn. De museumskeletten zijn composieten van verschillende fossielen, aangevuld met gipsen onderdelen. De langste schedels bereiken een lengte van 2,2 meter. De gedeeltelijke skeletten lijken te wijzen op een lengte van minstens 7,9 meter en een heuphoogte van 2,9 meter. Volgens Gregory S. Paul is het grootste skelet het holotype van T. sulcatus, USNM 4276. Hij schatte in 2010 de lengte van dit individu op 9,4 meter, het gewicht op zo'n dertien ton.

## Kaken van de Triceratops

Aan de zijkant kijken we recht op het slijtvlak van de naar buiten kantelende tanden in de onderkaak

De achterkant van het nekschild is het aanhechtingsvlak voor sterke nekspieren. Naar beneden toe loopt dit deel over in de hersenpan om het schild te ondersteunen. De condylus occipitalis, het raakpunt met de halswervels, is groot en rond; het staat de kop een grote bewegingsvrijheid toe. De schedelopening daarboven is zo georiënteerd dat het aannemelijk is dat het hoofd normaal iets naar beneden gericht werd.

De onderkaken zijn zwaargebouwd en vooral het onderste deel van het kaakgewricht is zeer breed. Het staat ook erg laag wat de hefboomwerking en daarmee de bijtkracht verhoogt. Het aantal tandposities komt meestal overeen met een totaal van ongeveer honderdzestig. De tanden zijn vrij klein en hun kroon is bladvormig en heeft aan de buitenkant een opvallende middenrichel. De tanden zijn samengepakt in een zogenaamde "tandenbatterij": niet alleen staan ze nauw aaneengesloten, onder iedere tand bevinden zich twee tot vier vervangingstanden waarvan de kronen tussen de uiteenstaande wortels van de boven- of onderliggende tanden passen. De wortels zijn bedekt met speciaal tandcement om een hecht verband te vormen. In de hele kop konden zo wel zes- à zevenhonderd tanden aanwezig zijn. Steeds worden onderaan — of, in de bovenkaak, bovenaan — nieuwe tanden aangemaakt die naar boven (onderen) toe opschuiven terwijl de bovenste, c.q. onderste, tand wegslijt en een permanent scherp snijvlak vormt. De hele verticale kolom is daarbij gedraaid, die van de nauwere onderkaak naar buiten toe en die van de bovenkaak naar binnen toe, zodat de occlusie vrijwel verticaal is. De tanden in de onderkaak hebben verder tandglazuur aan de binnenkant, die in de bovenkaak aan de buitenkant, zodat er een enkele harde en scherpe snijrand ontstaat. Hierdoor werken de kaken als twee enorme tuinscharen waarmee planten kunnen worden fijngeknipt.

## Triceratops versus Tyrannosaurus Rex

Als succesvolle planteneter vertegenwoordigde Triceratops ook het leeuwendeel van de voor grote roofdieren beschikbare biomassa. Uit zijn habitat is maar één grote predator bekend maar dat was wel een van de meest formidabele landroofdieren uit de wereldgeschiedenis, de gigantische Tyrannosaurus rex. Het is wel verondersteld dat de grootte, zware schedelbouw en bewapening van deze rover ontwikkeld zijn in een evolutionaire wedloop, waarbij ook Triceratops steeds krachtiger en dus een steeds moeilijker te bejagen prooi werd.

Het schild, veel massiever gevormd, dikker en zonder gaten, zou nek en rug beschermd hebben tegen beten; met de kartelrand en jukbeenhoorns zouden zijdelings verwondingen kunnen zijn toegebracht terwijl de wenkbrauwhoorns dodelijke wapens waren voor een frontale confrontatie, en de neushoorn automatisch in de buik van een belager gedreven werd als die het nekschild aanviel. De lange ribben beschermden de romp. Ook de hoornsnavel kon vreselijke wonden toebrengen en in een enkele knauw een voet van Tyrannosaurus afbijten. Met de sterke voorpoten zou Triceratops zich hebben kunnen schrapzetten om meer kracht uit te oefenen en hij kon zo sneller wenden dan de tyrannosauriër.