

Triceratops ‘Dirk’ een fossiel nieuw leven inblazen



Docentenhandleiding

Beste docent,

Dit is de docentenhandleiding voor de 3D-print activiteit. In dit document vind je meer informatie over:

- De opbouw van de activiteit.
- De prints.
- Achtergrondinformatie over de triceratopsen van Naturalis.
- Het skelet in elkaar zetten.
- Links naar de benodigde bronnen.

Deel de les naar eigen inzicht in. Ga aan de slag met een andere activiteit zolang de printer in werking is. In totaal zijn de leerlingen ongeveer een dagdeel effectief bezig met de les.

Heel veel plezier met het printen en onderzoeken!

Met vriendelijke groet,

Matthijs Graner
matthijs.graner@naturalis.nl
Educatief ontwikkelaar Naturalis

Lesplan

Korte omschrijving activiteit

Tijdens de activiteit print je stuk voor stuk botten van *Triceratops*. Leerlingen verwonderen zich over wat er uit de printer komt. Ze denken na over wat het is, waar het hoort en wat de functie is. Hierbij oefenen leerlingen met redeneren vanuit vorm en functie perspectief. Uiteindelijk zetten de leerlingen een *Triceratops* in elkaar tot een model (schaal 1:8), voor in de klas.

Doelgroep

Bovenbouw basisonderwijs (groep 5-8).



Doelen

- Leerlingen leren over de vorm en functie van dinosaurusbotten.
- Leerlingen leggen verband tussen botten van dieren van nu en hun eigen skelet.
- Leerlingen krijgen een indruk hoe *Triceratops* leefde.
- Leerlingen leren hoe wetenschappers onderzoek doen aan fossielen van dinosauriërs.
- Leerlingen leren over de mogelijkheden van 3D printen.

Aansluiting kerndoelen

De les sluit aan bij kerndoel 41: de leerlingen leren over de bouw van planten, dieren en mensen en over de vorm en functie van hun onderdelen.

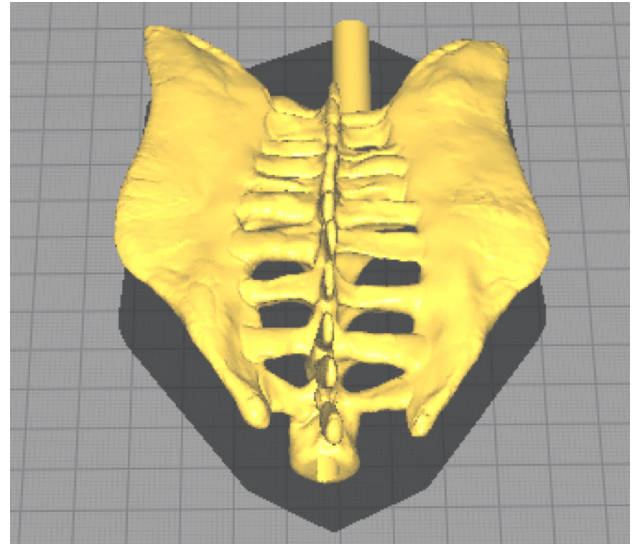
Inleiding

Download [hier](#) de 3D scans van de botten van *Triceratops* in klein formaat. Je print de botten in de klas. Kies zelf of je uiteindelijk elk onderdeel print, of dat slechts een deel van het skelet uit de printers rolt. De tweede optie raakt meer aan de werkelijkheid, aangezien er nog nooit een compleet skelet van *Triceratops* is gevonden.

Stap 1 (printtijd: +/- 9 uur)

Om verwondering te creëren zet je aan het begin van de activiteit een print van een onderdeel van het skelet van *Triceratops* aan: het 'Darmbeen en heiligbeen' (zie afbeelding). Vertel de leerlingen dat ze een 3d print activiteit gaan doen.

Zonder verdere inhoudelijke informatie aan de leerlingen te geven, vragen zij zich af wat er geprint wordt. Ze zijn nieuwsgierig, maar weten alleen dat de print het begin van een leuke activiteit is, waarbij nog meer geprint zal worden.



Stap 2 (duur: +/-20 minuten)

Laat het geprinte darm-/heiligbeen rondgaan in de klas. Bespreek deze eerste print klassikaal. Wat valt op? Waar lijkt het op? Wat is de functie ervan? Geef na het bespreken aan dat het om een stuk bot van een dinosaurus gaat dat in werkelijkheid ruim een meter lang is. Laat leerlingen in kleine groepjes nadenken over welk deel van het skelet het gaat en laat ze uitzoeken of wij mensen dit bot ook hebben. Laat aan het einde van dit onderdeel aan de hand van een skelet van de mens zien dat onze heupen vrijwel gelijk zijn aan die van *Triceratops*, maar dat deze op een net iets andere positie in het lichaam zit.

Stap 3 (printtijd: +/- 9 uur voor beide onderdelen samen)

Print vervolgens twee onderdelen: 'Schouderbladen + opperarmbenen' en de 'Staart'.

Stap 4 (duur: 1 uur)

De leerlingen komen nu steeds meer te weten door in groepjes de afzonderlijke prints te onderzoeken en er informatie over te vergaren. Dit doen zij door met elkaar te overleggen en informatie uit boeken en van internet te halen. Iedereen krijgt alle geprinte onderdelen in handen om te onderzoeken. Iedere leerling tekent of knutselt het dier dat bij deze botten hoort. Hoe denken zij dat deze dinosaurius eruit zag? De creaties zullen verschillen. Het laat zien dat er veel mogelijkheden zijn. Leg aan de leerlingen uit dat wetenschappers hun onderzoek vaak moeten doen aan de hand van een incompleet fossiel. Hoe meer informatie er voorhanden is, hoe nauwkeuriger de reconstructies zijn. Vraag aan de leerlingen: hoe reconstrueren wetenschappers dan toch het gehele dier? Paleontologen vergelijken hun vondsten vaak met fossielen die bij een andere opgraving aan het licht zijn gekomen. Ook vergelijken ze de fossielen met skeletten van dieren die nu leven*. Als het goed is hebben de leerlingen in stap 2 namelijk al ontdekt dat wij grotendeels (in ieder geval in de heupen) dezelfde botten hebben als deze dinosaurius. Met andere woorden, het [bouwplan](#) (de botvormen) van gewervelde dieren is voor een groot deel vergelijkbaar met die van dieren uit een ver verleden.

*Laat op het digibord enkele voorbeelden van skeletten van dieren van nu zien, zodat leerlingen de prints (fossielen) hiermee kunnen vergelijken. Denk aan bijvoorbeeld het skelet van een neushoorn of een olifant.

Stap 5 (duur: 30 minuten)

Niet alle stukken worden geprint. Waarom niet? In werkelijkheid vindt men ook niet alle botten terug. Bespreek kort met de leerlingen hoe dat kan. Botten kunnen wegspoelen met water, of verplaatst en opgegeten worden door aas- en vleeseters.

De leerlingen krijgen nu meer achtergrondinformatie over de *Triceratops* opgraving. Bekijk klassikaal één of meer van onderstaande filmpjes die uitleg geven over de werkwijze in het veld. Bespreek daarna wat leerlingen opviel. Wat zijn ze allemaal te weten gekomen en wat zouden ze nog graag willen weten? Kunnen ze gezamenlijk antwoorden bedenken op hun vragen?

- [Het leven op de prairie.](#)
- [Neusbot van *Triceratops*.](#)
- [Het ingipsen van fossielen voor transport.](#)
- [Triceratops versus *T. rex*.](#)

Stap 6 (duur: afhankelijk van het aantal prints)

De leerlingen weten nu meer over de bouw van het skelet en hoe een opgraving in zijn werk gaat. Maar hoeveel dieren zijn er eigenlijk gevonden? Het blijkt dat er niet één, maar wellicht een stuk of zes triceratopsen bij elkaar lagen. Geen van de skeletten is compleet en alles lag door elkaar. Nu alle botten uit de grond zijn gehaald doen onderzoekers hun best om te achterhalen hoe deze dieren leefden. Eén van de belangrijkste vragen daarbij: waren het kuddedieren?*

Optie 1: print de resterende delen van het skelet. Print ook de basis waar het skelet op steunt.

Optie 2: print botten dubbel en print niet alle onderdelen. Deze optie bootst het best de werkelijkheid na.

*Lees voor meer informatie over dit onderzoek *het verhaal van Triceratops* Dirkô

Stap 7 (duur: 2 uur)

Gekozen voor optie 1

Telkens wanneer een deel geprint wordt, passen de leerlingen op basis daarvan hun creatie aan. Laat enkele leerlingen het *Triceratops* skelet in elkaar zetten als alles geprint is. De onderdelen kunnen ze aan elkaar koppelen. Als afsluitende opdracht bouwen de leerlingen (in groepjes of gezamenlijk als klas) de **leefomgeving** van *Triceratops* na met veel verschillende materialen (papier, zand, hout etc.) waarin uiteindelijk het geprinte skelet kan worden 'tentoongesteld'. Laat de leerlingen missende informatie opzoeken. Het resultaat presenteren de leerlingen aan elkaar.

Gekozen voor optie 2

Wanneer meer incomplete skeletten zijn geprint om de werkelijkheid na te bootsen, maken leerlingen in groepjes de opgravingsplek na, waarbij de botten door elkaar heen en half begraven tentoongesteld kunnen worden. Verdeel hiervoor de prints over de groepjes. Laat leerlingen in dit geval ook miniatuur gereedschappen toevoegen die ze zelf knutselen. Het resultaat presenteren de leerlingen aan elkaar.

Stap 8 (duur: 1 uur)

Leerlingen hebben nu veel geleerd over het opgraven van fossiele dinosaurusbotten en het reconstrueren van een skelet en de leefomgeving. Nu ontdekken leerlingen meer over de **leefwijze** van het dier. Hoe zag het dier er uit toen het nog leefde? Eindig de activiteit met een klein onderzoekje. De leerlingen beantwoorden een aantal openstaande vragen over *Triceratops*, zoals: Hoe leefde hij? Wat at hij? Wie waren zijn vijanden? **En de belangrijkste onderzoeksvraag: 'waren het kuddedieren?'** Maak hiervoor een aantal groepen. Iedere groep beantwoordt een andere vraag door op een groot blad het antwoord te schrijven, voorzien van argumenten hiervoor. Na 5 á 10 minuten wordt iedere vraag doorgegeven aan een andere groep. Deze groep geeft haar eigen mening en argumenten. Uiteindelijk zijn alle vragen beantwoord en vindt er een klassikale discussie plaats, waarbij leerlingen de argumenten voor de gegeven antwoorden benoemen en erover discussiëren. Gebruik voor deze discussie de informatie uit *Het verhaal van Triceratops 'Dirk'* verderop in deze handleiding.

Stap 9 (Optioneel)

Willen de leerlingen meer te weten komen over Naturalis en de dinosaurussen? Laat ze dan naar de open wereld van het [Verwonderpaspoort](#) surfen. Dit kan ook klassikaal. Hier bekijken ze allerlei filmpjes, voeren ze proefjes uit en gaan ze op zoek naar een schat. Ook leuk om te kijken is de aflevering van [Klokhuis](#) over dinosaurussen. Daarnaast staan er op [Natuurwijzer](#) veel leuke en toegankelijke artikelen over de dinotijd.

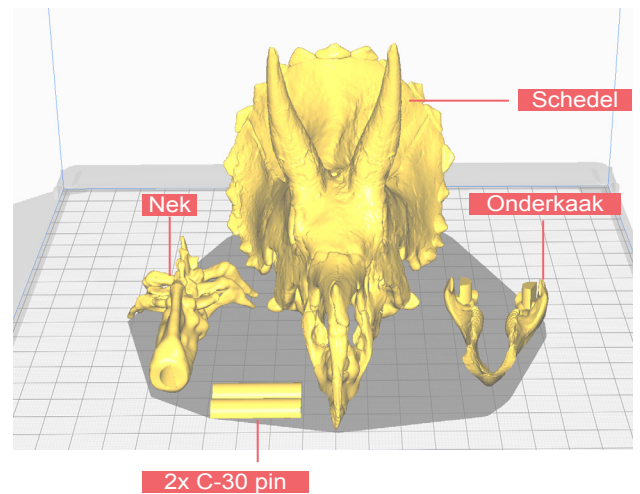
Tip! Nu de leerlingen veel te weten zijn gekomen over *Triceratops* en ze hun eigen tentoonstelling rondom de botten hebben gecreëerd, is het leuk om het echte skelet te komen bekijken in de dinozaal van Naturalis. Kijk op de [website](#) naar de mogelijkheden. Ook kun je in het dinolab in de zaal LiveScience onze preparateurs aan het werk zien. Hier worden de echte fossielen bewerkt en uiteindelijk in elkaar gezet tot nieuwe skeletten. De leerlingen mogen hun vragen direct aan de preparateur stellen. Geen mogelijkheid om naar Naturalis toe te komen? Boek dan een [online gastles](#)!

De prints

Hieronder vind je het overzicht van de tien prints. De foto's zijn geplaatst in de oriëntatie waarin ze het gemakkelijkst geprint worden. Bij sommige prints zijn kleine koppelstukjes inbegrepen. Deze worden gebruikt om de skeletonderdelen aan elkaar te koppelen. De printtijden zijn gebaseerd op de instellingen uit het meegeleverde Cura-profiel.

De kop van Dirk (Printtijd: +/- 16 uur)

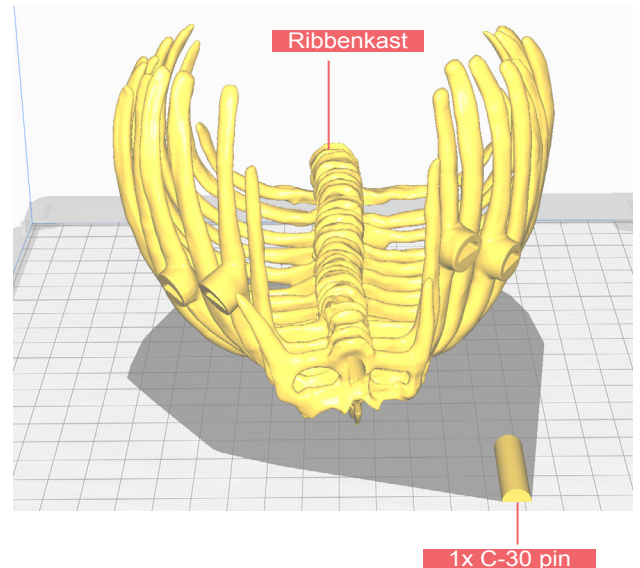
Dit is de kop van Dirk. In werkelijkheid is de schedel anderhalve meter lang. Op de kop zitten drie hoorns, waarvan twee boven de oogkassen en één op de neus. Hiermee kon *Triceratops* zich goed verdedigen tegen aanvallen van bijvoorbeeld een *T. rex*. Aan de achterkant van de kop zit een groot nekschild. Hoewel het nekschild zeer waarschijnlijk een beschermende functie van de nek had, zijn er ook wetenschappers die vermoeden dat het nekschild gebruikt werd om te pronken en een partner aan te trekken.



Wervels en ribben (Printtijd: +/- 33 uur*)

De ribbenkast bestaat uit 15 paar ribben. In totaal had *Triceratops* dus 30 borstribben die de onderliggende organen beschermden.

*omdat dit een grote, ingewikkelde print betreft, is de printtijd relatief lang.



Schouderbladen en opperarmbenen

(Printtijd: +/- 6 uur)

De voorpoten van *Triceratops* zijn heel stevig gebouwd, ze moeten ten slotte het grote gewicht van onder andere de schedel dragen. Elke poot heeft vijf vingers, twee onderarmbotten en één bovenarmbot. Daarmee is het bouwplan gelijk aan dat van de mens. De schouderbladen zijn heel langgerekt en lopen langs het lichaam. Aan de voorkant lopen de schouderbladen door in de ravenbeksbeenderen die elkaar voor het lichaam raken.

Voorpoten

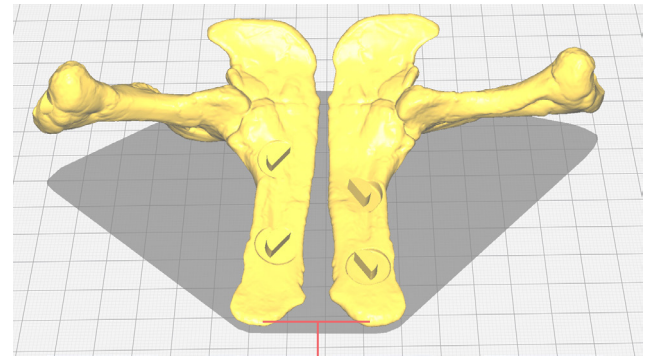
(Printtijd: +/- 4 uur)

De voorpoten van *Triceratops* waren robuust gebouwd en bestaan uit dezelfde botten als bij de mens. De stevige botten zorgden ervoor dat het gewicht van de zware kop met hoorns en nekschild goed gedragen kon worden.

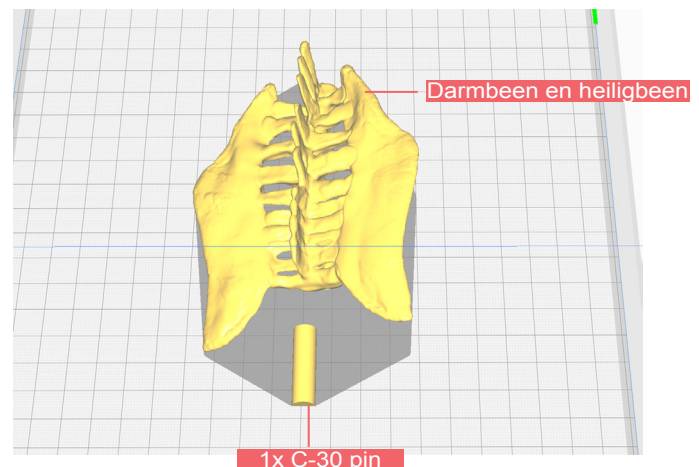
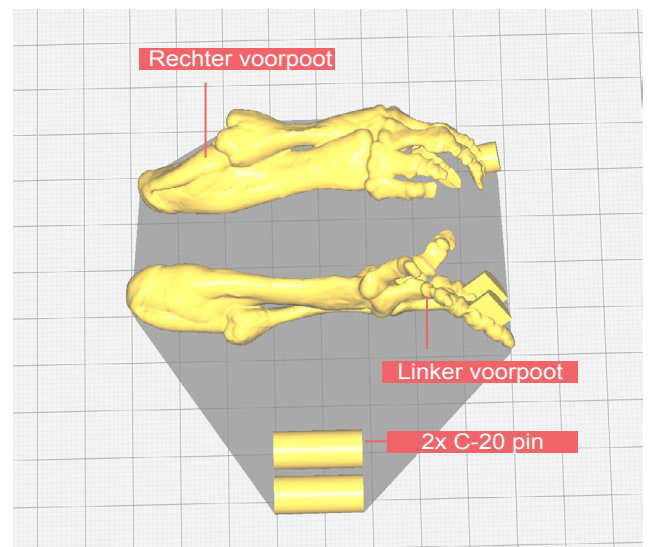
Darmbeen en heiligbeen

(Printtijd: +/- 6 uur)

De heupen van *Triceratops* waren enorm groot. Het bouwplan is nagenoeg gelijk aan de heupen van de mens, alleen zitten de botten anders georiënteerd in het lichaam. Het bestaat uit grofweg drie delen: het darmbeen, het schaambeen en het zitbeen. Deze print betreft het darmbeen. Het darmbeen zit links en rechts in de onderrug en omklemt de wervels daartussen (het heiligbeen). In deze positie geeft het bescherming aan de rug. Het darmbeen heet zo, omdat het bij de mens als een soort kom de darmen vasthoudt, bij een *Triceratops* is dat niet het geval.

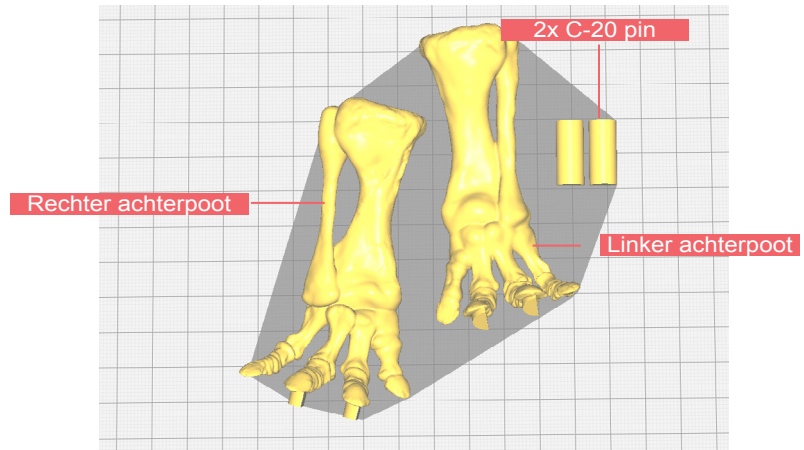


Schouderbladen en opperarmbenen



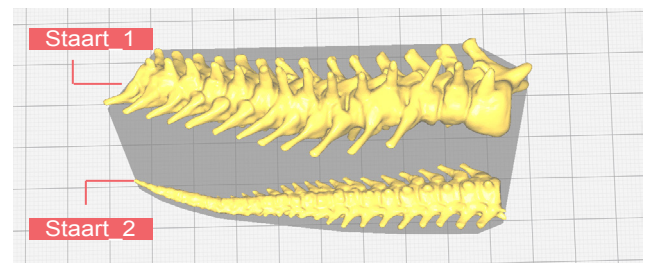
Achterpoten (Printtijd: +/- 7 uur)

De achterpoten van *Triceratops* waren robuust gebouwd en bestaan uit dezelfde botten als bij de mens. Het is niet bekend hoe snel de dieren konden lopen. Zeer waarschijnlijk niet heel snel, omdat het een zwaar gebouwd dier was.



Staart (Printtijd: +/- 3 uur)

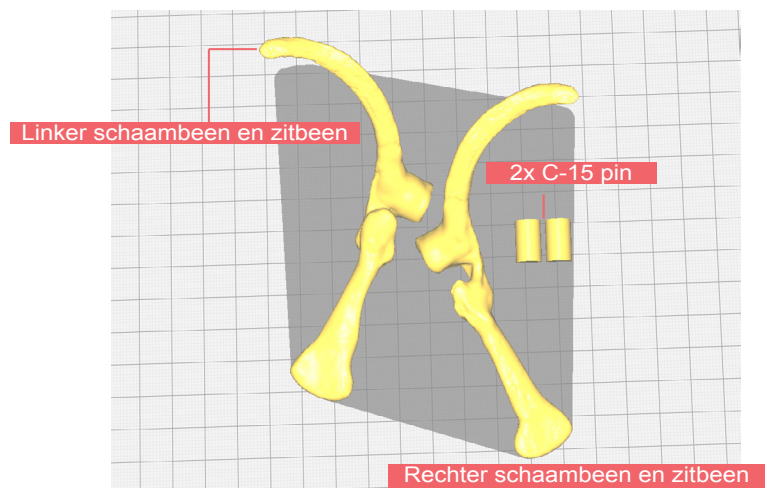
De staart van een *Triceratops* is vrij lang en bood tegenwicht aan de zware kop. Zo bleef het dier in balans. Het is niet bekend uit hoeveel botten de staart bestaat, aangezien er nog nooit een complete staart gevonden is. Niet heel gek, want van het hele skelet zitten de kleinste botjes in de staart en die spoelden gemakkelijk met het water weg of werden opgegeten door andere dieren.



Schaambeen en zitbeen

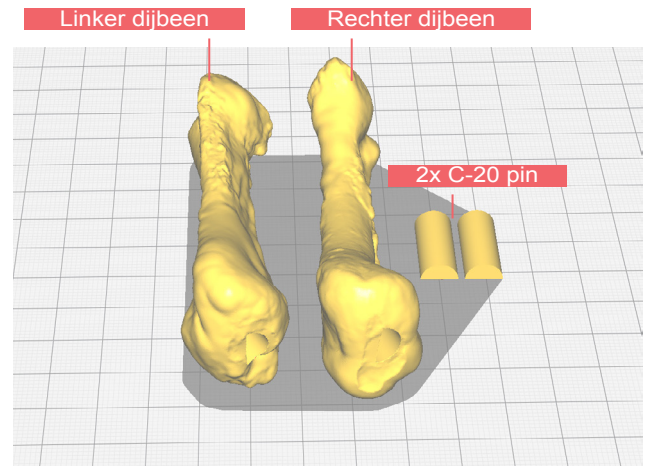
(Printtijd: +/- 4 uur)

Het schaambeen en het zitbeen maken net als het darmbeen onderdeel uit van de heupen. Het schaambeen zit bij de mens aan de voorkant, maar steekt bij *Triceratops* schuin naar beneden en naar voren. Het zitbeen steekt naar achter en zit onder de staart. Het bood mogelijk bescherming van het achterwerk en diende wellicht als een soort bescherming voor de eieren, zodat deze niet kapot vielen op de grond. Bij de mens is het zitbeen goed te voelen wanneer je bij iemand op schoot zit. Het zit aan de onderkant van onze billen.



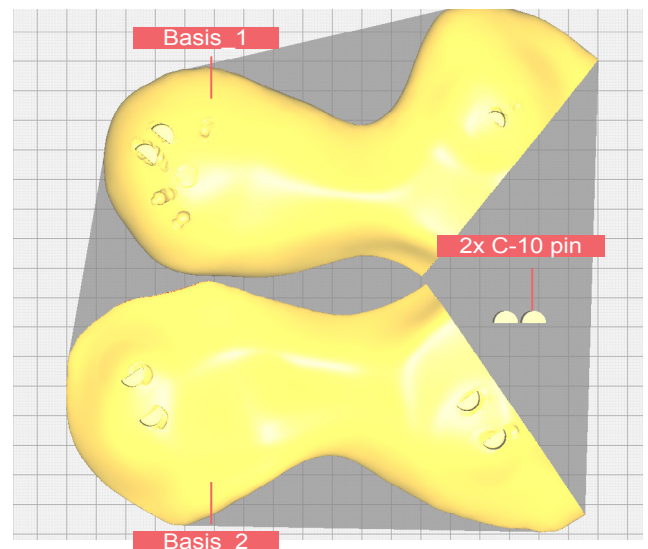
Dijbenen (Printtijd: +/- 5 uur)

De dijbenen zijn relatief lang en slank in vergelijking met de opperarmbenen. De rug van het dier stak doorgaans dan ook boven de kop uit.



Basis (Printtijd: +/- 2 uur)

Dit is de basis waarop het skelet neergezet kan worden.



Het verhaal van Triceratops 'Dirk'

Passport

Bijnaam: Dirk

Soort: *Triceratops horridus* (Drie-hoorn-gezicht)

Geslacht: waarschijnlijk mannelijk

Lengte: tot 9 meter

Gewicht: 5.900 tot 12.000 kilo

Leefperiode: Laat Krijt: 67,5 tot 66,0 miljoen jaar geleden

Leefgebied: Westelijk Noord-Amerika

De gevonden fossielen komen uit het Boven Krijt (100.5-66.0 miljoen jaar geleden), om precies te zijn uit het Maastrichtien (72-66 miljoen jaar geleden). In die tijd leefden in Noord-Amerika veel dinosauriërs als *T. rex*, hadrosauriërs (*Edmontosaurus*, *Parasaurolophus* enz.) en natuurlijk *Triceratops*.

Amerika in de dinotijd

Noord-Amerika was destijds van noord naar zuid in tweeën gesplitst door een grote zee: de Western Interior Seaway (zie afbeelding). Aan de rand van deze zee, die 66 miljoen jaar geleden al sterk gekrompen was, leefde de groep triceratopsen die Naturalis heeft opgegraven. Op deze zee kwamen rivieren uit. Een van die rivieren liep vlak in de buurt van wat nu de vindplaats van de fossielen is.



De Western Interior Seaway bestond van ongeveer 100 tot 66 miljoen jaar geleden. (c) Wikipedia CC-BY-4.0

Het klimaat

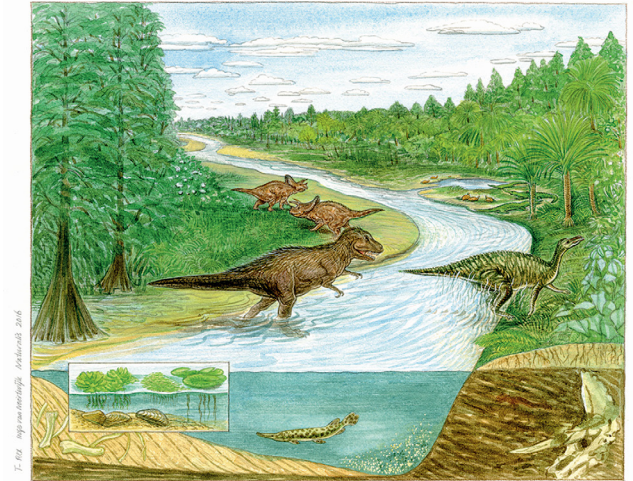
Het klimaat was subtropisch met open bosgebied (zie tekening). Het was er warm en het regende zeer waarschijnlijk veel (tropische stormen). Dat zien onderzoekers terug in de gevonden plantenfossielen en de grondlagen. Door de stormen overstroomden de rivieren regelmatig. Zo ook op de plek waar de *Triceratops* botten lagen. Onderzoekers weten dat, omdat er onder de botten een kleilaag ligt. Waarschijnlijk was het een moerassig gebied dat soms helemaal onder water stond, wanneer de rivier buiten haar bedding stroomde.

De vindplaats

De vindplaats van de fossielen van *Triceratops* ligt in de staat Wyoming, Amerika, vlakbij Newcastle. De site is in twee delen te splitsen: een beneden- (A) en een boven (B). Boven zijn resten van één *Triceratops* gevonden, beneden van ten minste vier. Het hoogteverschil tussen de sites is vier meter, dat overeenkomt met grofweg ongeveer 5.000 tot 15.000 jaar verschil in tijd. In totaal zijn er ruim 1000 botfragmenten gevonden.



Site A.



Impressie van het vlakke rivierenlandschap in Montana waar *Triceratops* 67 miljoen jaar geleden rondliep, getekend door Inge van Noortwijk.



Beide sites vanuit de lucht gezien.



Site B.

Hoe is de vindplaats aan het oppervlak komen te liggen?

In die tijd was het land vrij vlak. Ten westen van de vindplaats stuwden krachten de Rocky Mountains omhoog. Dankzij deze gebergtevorming vond er veel erosie plaats en zijn er gedurende miljoenen jaren honderden meters rivierafzettingen (zand, silt, klei afkomstig van riviersystemen) over de triceratopsbotten neergelegd en is het massagraf goed bewaard gebleven. Vanaf zo'n 30 miljoen jaar geleden, werden ook deze lagen onderhevig aan verwering en erosie. Er verdween dus steeds meer zand waardoor de dinosauriërs uiteindelijk weer aan het oppervlak liggen. De afzettingsslaag waar de botten in zijn gevonden maakt deel uit van de zogenaamde 'Lance Formation'. Hoewel deze laag overeenkomsten vertoont met de laag in Montana waar *T.rex* Trix in is gevonden ('Hell Creek formation'), zijn onderzoekers er nog niet over uit of beide lagen even oud zijn.

Hoe kwamen de triceratopsen om het leven?

De triceratopsen zijn waarschijnlijk op deze plek gestorven, maar hoe? Zeker weten doen onderzoekers dat nog niet, maar de nieuwste hypothese zegt dat ze zelf de moerassige rivieroever in liepen en wegzakten. Waarom denken de onderzoekers dat? Men kan aan grondlagen goed zien wat er is gebeurd op een plek. In de foto is een verticaal stuk grond aan de oostkant van de benedensite zichtbaar. De onderste laag laat een kleilaag zien. De kleilaag is en was vrij zacht. Dat zie je aan de depressies in die laag (pijlen). Dit zijn mogelijk uitgesmeerde pootafdrukken. Bovenop de klei laag zijn de fossielen gevonden. Dat betekent dat er een kleine kans bestaat dat deze depressies pootafdrukken zijn van de *Naturalis* triceratopsen, die iets wegzakten in de klei. Uiteindelijk zijn ze iets te ver het moeras (uiterwaarden meertje) in gelopen, daar mogelijk vast komen te zitten en gestorven. De laag erboven is homogeen zandsteen, nagenoeg zonder gelaagdheid. Dit is zeer waarschijnlijk tijdens een doorbraak van de rivier in één keer afgezet op de kleilaag. (Dit heet ook wel een 'crevasse splay'). Over de stroomsnelheid en richting is nog niet veel te zeggen, omdat deze laag op verschillende plekken verschillende dikten heeft. *Naturalis* zoekt naar meer verticale stukken waar deze gelaagdheid (met depressies) te zien is, om deze 'moeras-hypothese' te bevestigen.



Pijlen geven depressies in de zachte klei (onderste laag) aan. Mogelijk liep *Triceratops* hier.

Kan er ook wat anders gebeurd zijn?

Er is nog veel onduidelijk over hoe de dieren aan hun eind kwamen. Er is nog een andere mogelijkheid, al is die niet heel aannemelijk. Deze hypothese zegt dat de triceratopsen naar deze plek vluchtten voor een flinke brand. In een moeras staat water en zijn weinig bomen waardoor de triceratopsen hier mogelijk veiliger waren, niet wetende dat ze vast zouden komen te zitten. In de grond zou dat te zien zijn aan de lagen houtskool, met andere woorden: verbrand hout en plantenmateriaal. Toch betekent het vinden van veel houtskool niet perse dat er brand heeft gewoed. Het is dus niet heel waarschijnlijk dat de dieren door brand om het leven zijn gekomen. Weer een andere mogelijkheid is dat de dieren op verschillende plekken langs de rivier leefden en na hun dood zijn mee gespoeld en op deze vindplaats zijn afgezet.

De resten van de dieren zijn niet meteen bedekt geraakt. Dat weten we omdat botten verplaatst zijn en de tanden zijn losgeraakt van de kaken en her en der zijn teruggevonden. Hebben ze dan jaren aan het oppervlak gelegen? Nee, ook niet. De botten zijn voor een groot deel namelijk heel goed bewaard gebleven. Aangezien de dieren dus een tijdje dood waren voordat ze werden bedekt door afzettingen en ze dus een aanzienlijke tijd bloot gelegen hebben, is het extra moeilijk om een doodsoorzaak te vinden.

Hoe leefde *Triceratops*?

De gevonden fossielen geven aanwijzingen over de leefwijze van deze dieren. Waren het kuddedieren of niet?

Onze vondst zorgt voor veel discussie over of triceratopsen kuddedieren waren of niet: er zijn namelijk nooit eerder zoveel individuen bij elkaar gevonden. Het is slechts twee keer eerder voorgekomen dat er enkele dieren bij elkaar lagen en samen werden gevonden. Maar dat er nu voor het eerst een grotere groep gevonden is, wil ook niet meteen zeggen dat ze altijd in kudden rondliepen: door de stroming van de rivier of een natuurramp spoelden de dieren misschien bij elkaar. Toch bestaat de mogelijkheid dat de triceratopsen van Naturalis afkomstig zijn uit dezelfde kudde. We hebben te maken met individuen van verschillende leeftijden. Zeer waarschijnlijk een 'pre-puber', die nog geen groeispurt had doorgemaakt, twee (of drie) pubers, een jongvolwassene en een ouder dier. De fossielen van de verschillende individuen liggen heel dicht op elkaar, wat suggereert dat ze tegelijk of vlak na elkaar stierven. Deze informatie alleen is nog niet genoeg bewijs dat het kuddedieren waren. Maar hoewel de kans bestaat dat door de stroming van de rivier botten van verschillende plekken op dezelfde plaats (in dit geval de vindplaats) gespoeld zijn, is dat niet aannemelijk. In dat geval verwachten we dan ook fossielen te vinden van heel andere dieren die ook langs die rivier zijn gestorven. Dat is op een enkele, te verklaren visschub, krokodilhuidplaatje en klein zoogdierkaakje, niet het geval. Er zijn vooralsnog weinig aanwijzingen voor instroom van botten, al wordt dit nog onderzocht. Inmiddels weten we dat de fossielen allemaal in één keer zijn afgezet, maar de vraag blijft of ze ook allemaal tegelijk zijn gestorven, al lijkt dit nu wel een stuk aannemelijker. Ze waren waarschijnlijk samen, of in ieder geval dicht bij elkaar in de buurt. Waren triceratopsen dus kuddedieren? Het is zeker mogelijk, maar verder onderzoek zal dit moeten uitwijzen.

Welk onderzoek doet Naturalis?

We zijn nu hard aan het werk in het dinolab in de zaal LiveScience in Naturalis. Hier prepareren we de botten. Het onderzoek kan slechts deels beginnen, omdat nog niet alle botten vrij van steen zijn. Op dit moment onderzoekt Naturalis hoe oud de triceratopsen zijn geworden.

Hiervoor boren de onderzoekers een stukje bot uit een pootbot en onderzoeken dit onder de microscoop. Soms zijn er in deze botten groeilijntjes te zien (zie foto). Deze markeren periodes waarin een dier minder snel groeide. Het is een beetje vergelijkbaar met de jaarringen van een boom, maar met één groot verschil. Waar een boom nooit lagen afbreekt, breekt een dier aan de binnenkant van het bot wat materiaal af en groeit er nieuw bot aan de buitenkant aan. Daarbij komt dat nieuwe cellen oude vervangen, wanneer de groei vertraagt of zelfs stopt. Hierdoor is het bepalen van de leeftijd lastig.

Ook het nekschild van *Triceratops* helpt bij de bepaling van de leeftijden. Aan de hand hiervan ziet men namelijk in welke groeifase het dier zich begaf. Heel jonge dieren hebben een klein, wat naar achter hellend nekschild met kleine uitsteeksels (een soort kantelen) er losjes op. Deze worden ook wel 'epi-botten' genoemd (epi = erop/erboven in het latijn).

Wanneer het dier geslachtsrijp werd waren deze kantelen, die van bot gemaakt zijn, duidelijk zichtbaar aan de rand van het nekschild (foto's). Bij oudere dieren verdwenen deze kantelen. Ze werden als het ware in het bot teruggetrokken. Mogelijk hadden triceratopsen deze kantelen om op te vallen voor andere triceratopsen. Als laatste wordt natuurlijk ook gekeken naar de grootte van de botten. Aan de hand daarvan maakt men een ruwe schatting van leeftijd.



Zichtbare groeilijntjes in bot.



Uitsteeksels (kantelen) op het nekschild van *Triceratops* (A). Een stuk nekschild met kanteel uitvergroet (B) Het gaat hier zeer waarschijnlijk om een jongvolwassen dier. In het nekschild van een ouder dier (C) zijn nauwelijks kantelen zichtbaar.

Om te bepalen of triceratopsen kuddedieren waren, worden de kiezen onderzocht. Zo kan men veel te weten komen over de laatste levensfase. De kiezen worden op verschillende manieren onderzocht: op isotopen en op laagdikte.

Enamel

Bij een levende *Triceratops* zette zich dagelijks een klein laagje glazuur aan de buitenkant van een nieuwe kies af. Afhankelijk van hoe een dag van *Triceratops* eruit zag was dat een dikker of dunner laagje. De kies bestaat uit ongeveer dertig laagjes. De 30e laag wordt afgebroken, wanneer een nieuw laagje ontstaat, anders zou de kies steeds groter worden. Als de kies volgroeid en helemaal doorgekomen was, sletten de lagen langzaam af. Hierdoor kan men maximaal dertig dagen terug in de tijd 'kijken'. Als een *Triceratops* een dag goed had gegeten, zal het laagje glazuur vrij dik zijn geweest. Als hij de hele dag achterna werd gezeten door een *T. rex* of er was geen voedsel voorhanden, dan werd een dun laagje afgezet. De laagjes vertellen iets over de voeding in de laatste dertig dagen. Door de lagen in de kies van het ene individu te vergelijken met die van een ander individu, kan men achterhalen of zij samen geleefd hebben gedurende hun laatste dertig dagen. Als het patroon overeenkomt is het aannemelijk dat dit het geval is. Als dat blijkt dan gaat het zeer waarschijnlijk om een kudde.



Tand van een *Triceratops*.



Linker bovenkaak van *Triceratops*.

Isotopen

Ook de samenstelling van de laagjes tand is belangrijk. Als een nieuw laagje gemaakt wordt, neemt de tand bepaalde stoffjes op. Deze stoffjes heten isotopen. Dat zijn verschillende vormen van bepaalde stoffjes. Calcium is zo'n stofje. Het ene calciumdeeltje weegt meer dan het andere. Afhankelijk van wat het dier heeft gegeten of gedronken bestaat elk laagje tand uit een andere hoeveelheid isotopen. De verhouding van verschillende isotopen in de tanden is bruikbaar voor allerlei onderzoeken. Strontium wordt bijvoorbeeld gebruikt in het kudde onderzoek. De verhouding van verschillende strontium isotopen verschilt namelijk per type grond. Als verschillende verhoudingen worden teruggevonden in de verschillende lagen van één tand, dan is het zeer goed mogelijk dat *Triceratops* migreerde.

Kan het DNA onderzocht worden?

DNA-onderzoek is niet mogelijk als het gaat om dinosauriërs. DNA is namelijk een zeer instabiel molecuul, dat al relatief snel na de dood afbreekt. Met geluk vindt men tegenwoordig nog een stukje bruikbaar DNA van bijvoorbeeld een mammoet die enkele duizenden jaren geleden leefde, maar verder dan ongeveer 800.000 jaar terug in de tijd, lukt met DNA vooralsnog niet. Wellicht dat men met betere technieken in de toekomst in staat is om meer DNA te vinden.



Het skelet van *Triceratops* in museum Naturalis.

Het resultaat

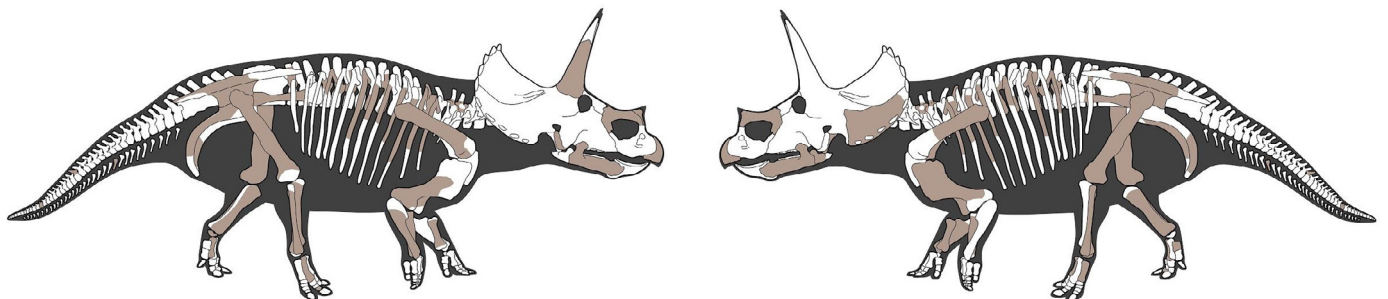
Inmiddels is de *Triceratops* die op de bovensite is gevonden, helemaal geprepareerd en tot skelet in elkaar gezet. Het resultaat, Dirk (vernoemd naar vrijwilliger Dirk Cornelissen, die veel aan deze fossielen heeft gewerkt) is in zaal De dinotijd van Naturalis te bezichtigen. Aan de fossielen van de benedensite wordt op dit moment nog hard gewerkt.



Vrijwilliger Dirk lijmt een fossiel van *Triceratops*.

Helemaal echt?

Complete skeletten van dinosaurussen worden nooit gevonden. Er missen altijd botten die destijds zijn opgegeten of weggespoeld, of in de loop van de tijd door het verschuiven van de grond verloren gingen. Dat geldt ook voor de door Naturalis gevonden skeletten. Dirk is voor ongeveer 55% compleet als het gaat om botvolume en voor 20% in het geval van aantal botten. Het skelet bestaat uit ongeveer 300 botten. Daarvan zijn er 61 (deels) teruggevonden.



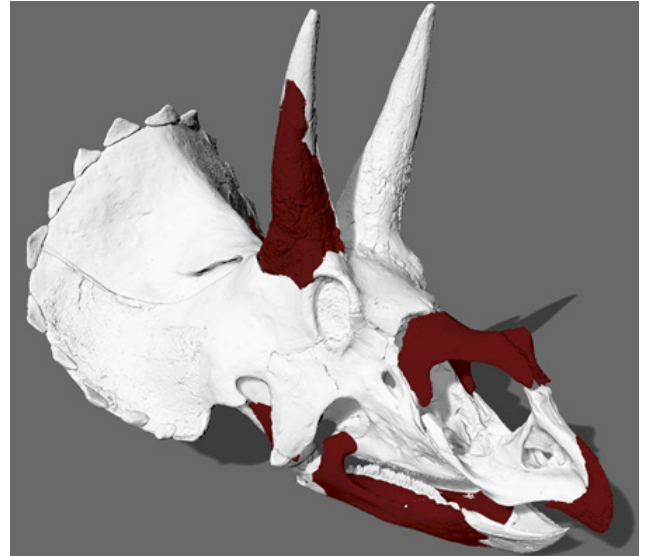
Schematische weergave van de gevonden botten van *Triceratops* Dirk. Tekening gebaseerd op model van Scott Hartman en aangepast door Olof Moleman.

3D printen

Botten die niet zijn gevonden, worden tegenwoordig vaak 3d geprint. Hiervoor zijn wel echte botten nodig, omdat er 3d scans van gemaakt moeten worden. Gelukkig zijn er veel *Triceratops* fossielen gevonden in Amerika, om gebruik van te maken. Het geprinte deel van de schedel van Dirk bestaat dan ook uit vier verschillende individuen. Niet al het geprinte materiaal komt van andere triceratopsen. We proberen zoveel mogelijk van de gevonden fossielen te gebruiken. Neem bijvoorbeeld de rechter hoorn van *Triceratops* Dirk. Naturalis heeft een deel hiervan opgegraven. Deze is gescand en vervolgens gespiegeld en 3d geprint als linker hoorn. Hoewel deze hoorn dus niet echt is, kon deze wel zo echt mogelijk worden na gemaakt. Uiteindelijk bestaat bijna de helft van het skelet uit gekopieerde en 3d geprinte botten.

Updates uit het veld

Het Naturalis opgraafteam houdt alle dinofans graag op de hoogte. Zo werden er tijdens de tweede *Triceratops* expeditie in juni 2016 regelmatig blogposts geplaatst op de website en hield expeditielid Matthijs Graner een videoblog bij en deelde hij de bevindingen van de groep. Zo liet hij zien welk gereedschap zij gebruiken bij een opgraving en nam hij de kijker mee naar de vlakten van Wyoming. De vlogs zijn [hier](#) te vinden. Daarnaast schreef mede expeditielid Sander van der Deure blogs over de opgravingen van 2015 t/m 2017. Deze vind je [hier](#) (even naar beneden scrollen).



3d model van *Triceratops* Dirk met in bruin aangegeven welke fossielen zijn gevonden. Door: Pasha van Bijlert



Een deel van het opgraafteam (2019).

Het skelet in elkaar zetten

Denk eraan om de onderdelen in dezelfde volgorde te bewaren nadat u ze van het printbed hebt verwijderd

Lijst met onderdelen

1. Schedel + onderkaak + halswervels

Schedel
Nek
Onderkaak
x2 C-30 pin

2. Ribben

Ribbenkast
x1 C-30 pin

3. Schouderbladen + opperarmbenen

Rechter Schouderblad en opperarmbeen
Linker Schouderblad en opperarmbeen

4. Voorpoten

Rechter voorpoot
Linker voorpoot
x2 C-20 pin

5. Darmbeen + heiligbeen

Darmbeen en heiligbeen
x1 C-30 pin

6. Achterpoten

Rechterpoot
Linkerpoot
x2 C-20 pin

7. Staart

Staart_1
Staart_2

8. Schaambeen + zitbeen

Rechter schaambeen en zitbeen
Linker schaambeen en zitbeen
x2 C-15 pin

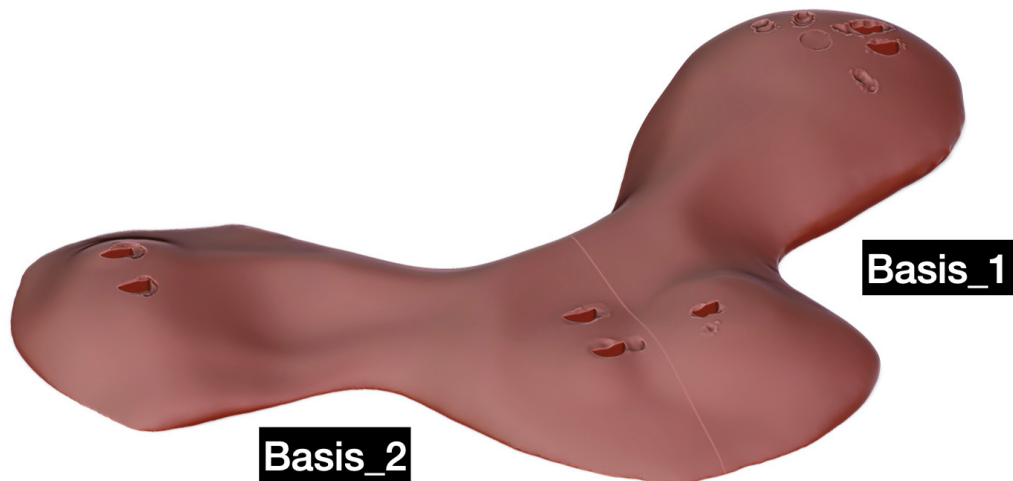
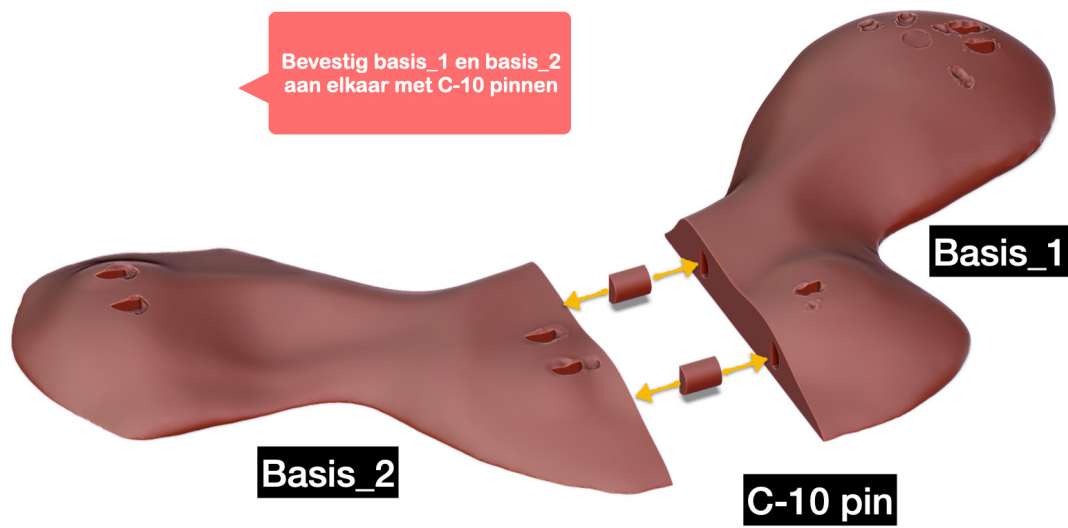
9. Dijbenen

Rechter dijbeen
Linker dijbeen
x2 C-20 pin

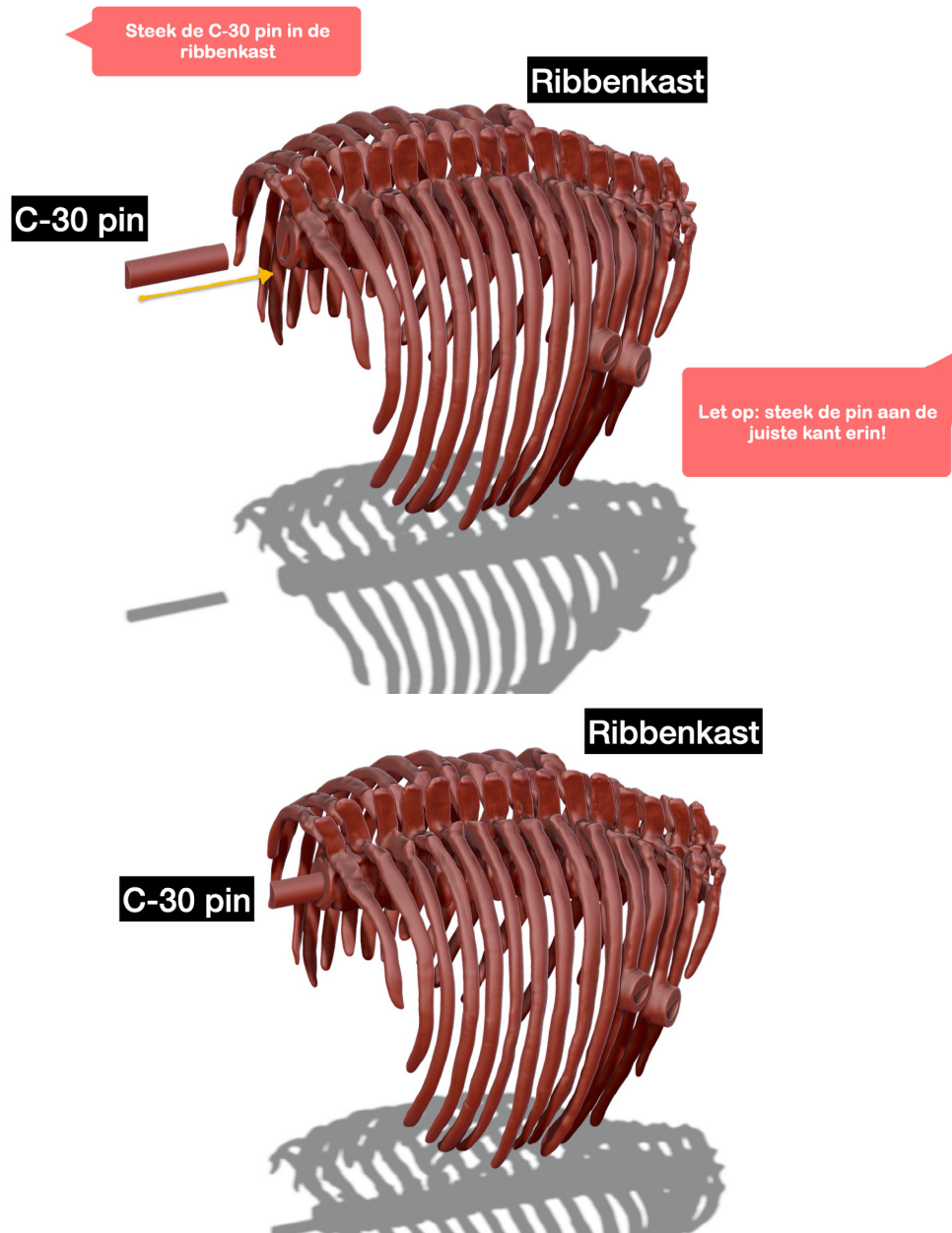
10. Basis

Basis_1
Basis_2
x2 C-10 pin

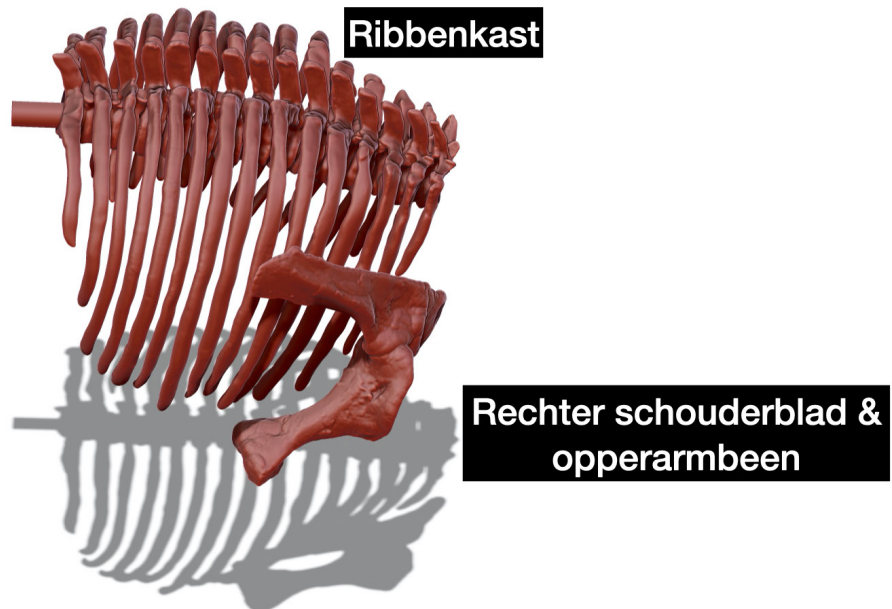
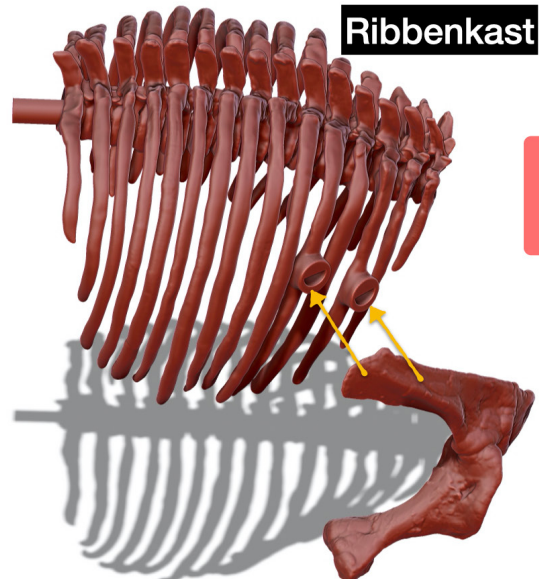
Basis



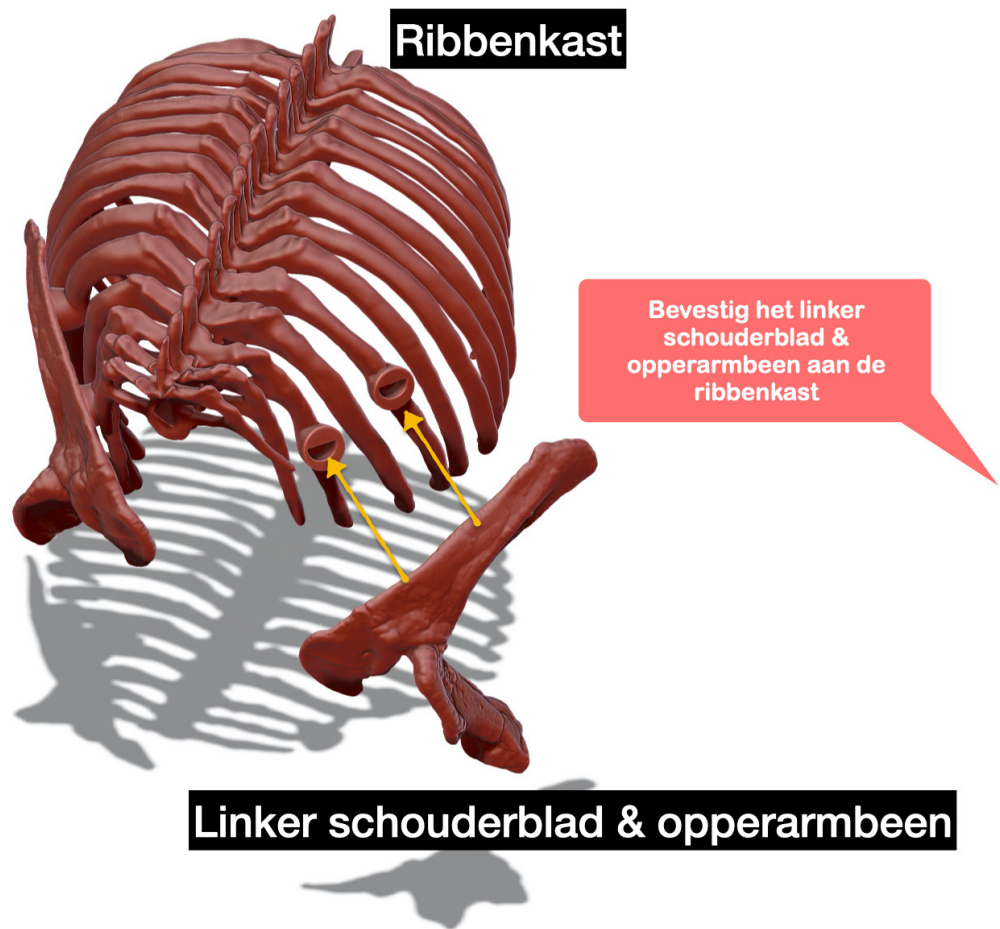
Ribbenkast



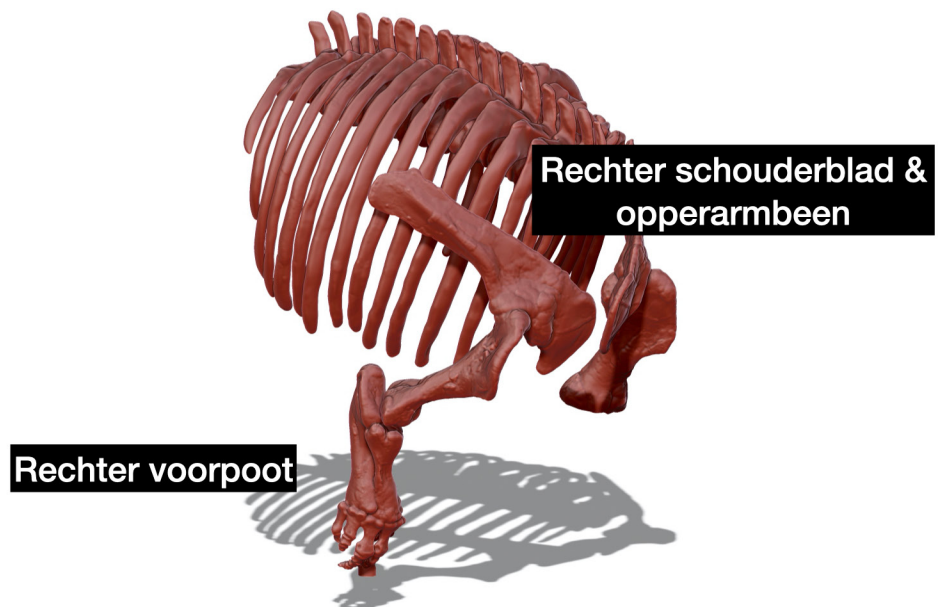
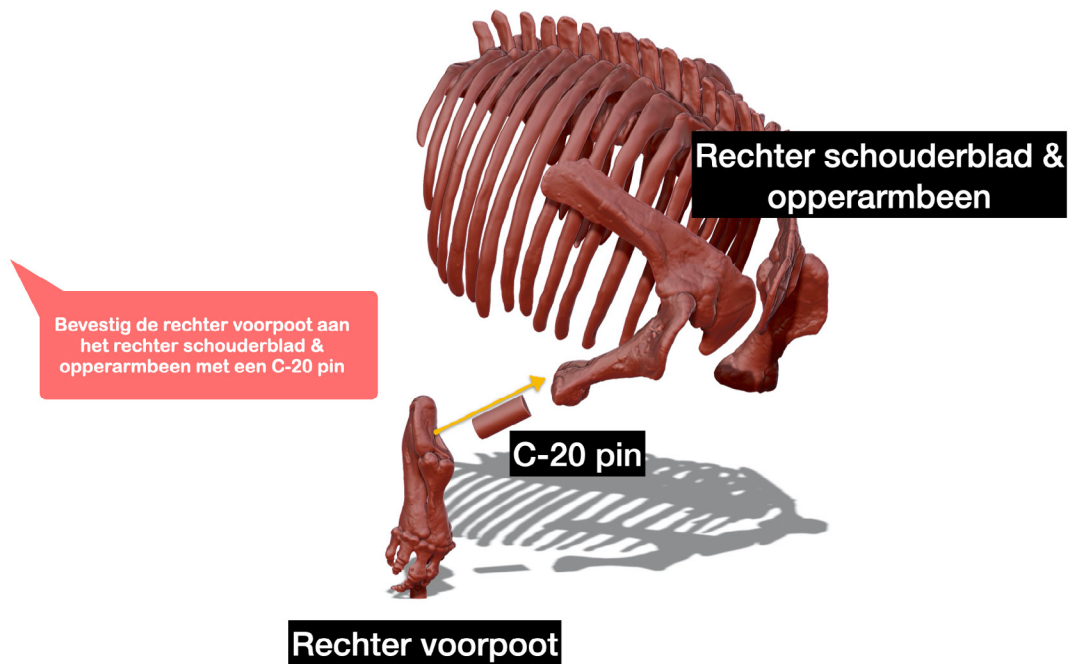
Schouderbladen



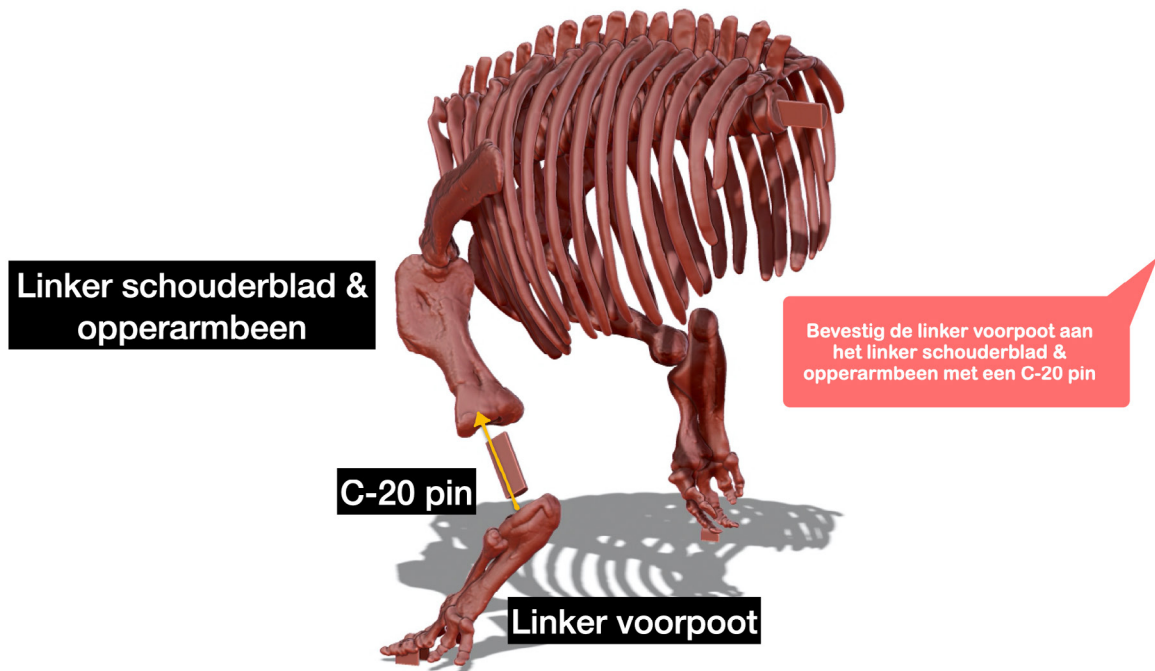
Schouderbladen 2



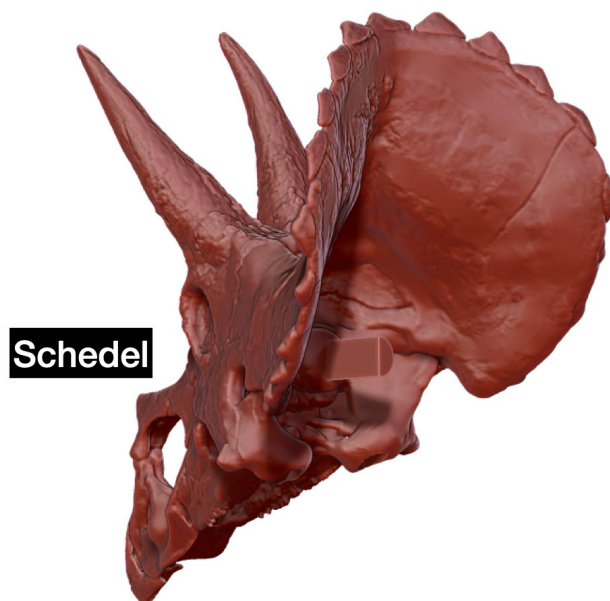
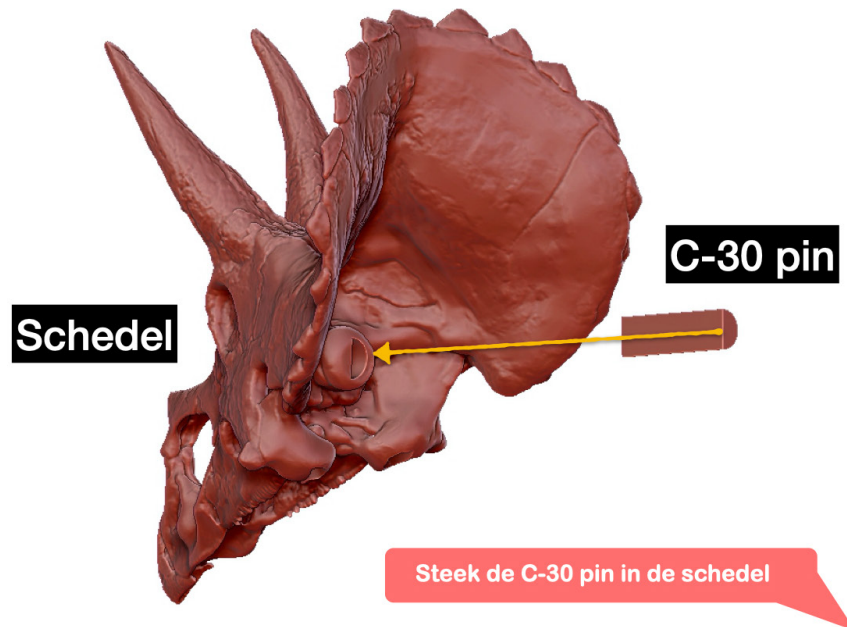
Voorpoten



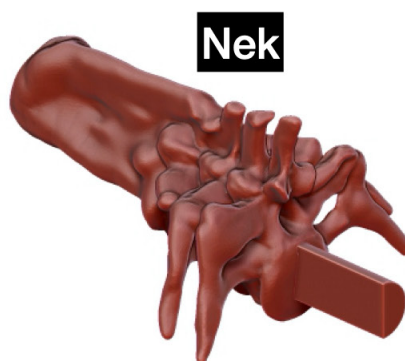
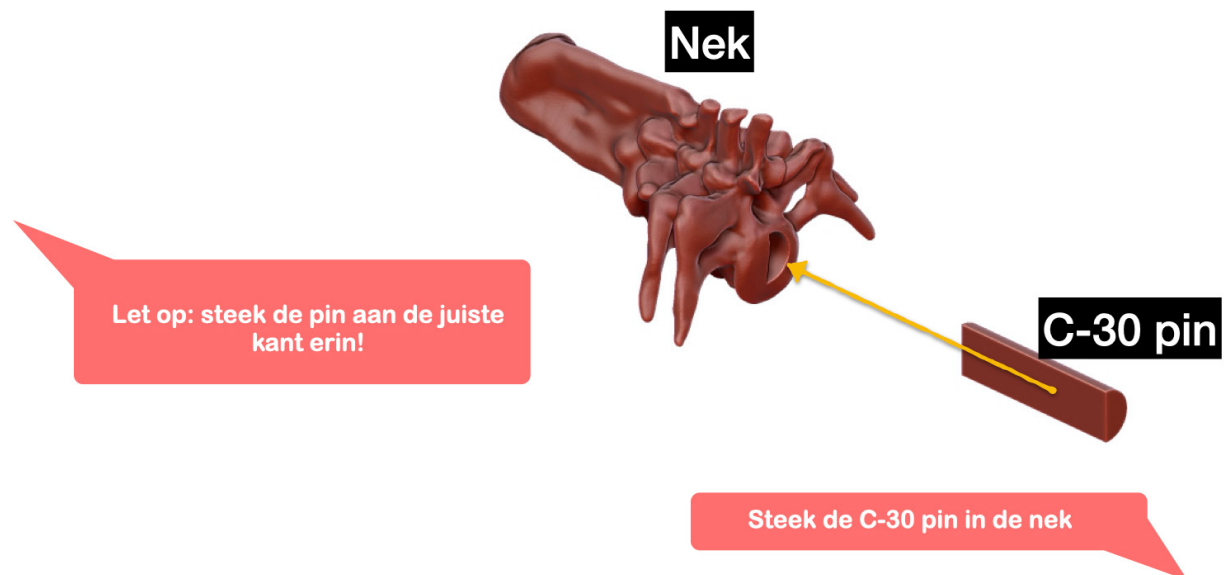
Voorpoten 2



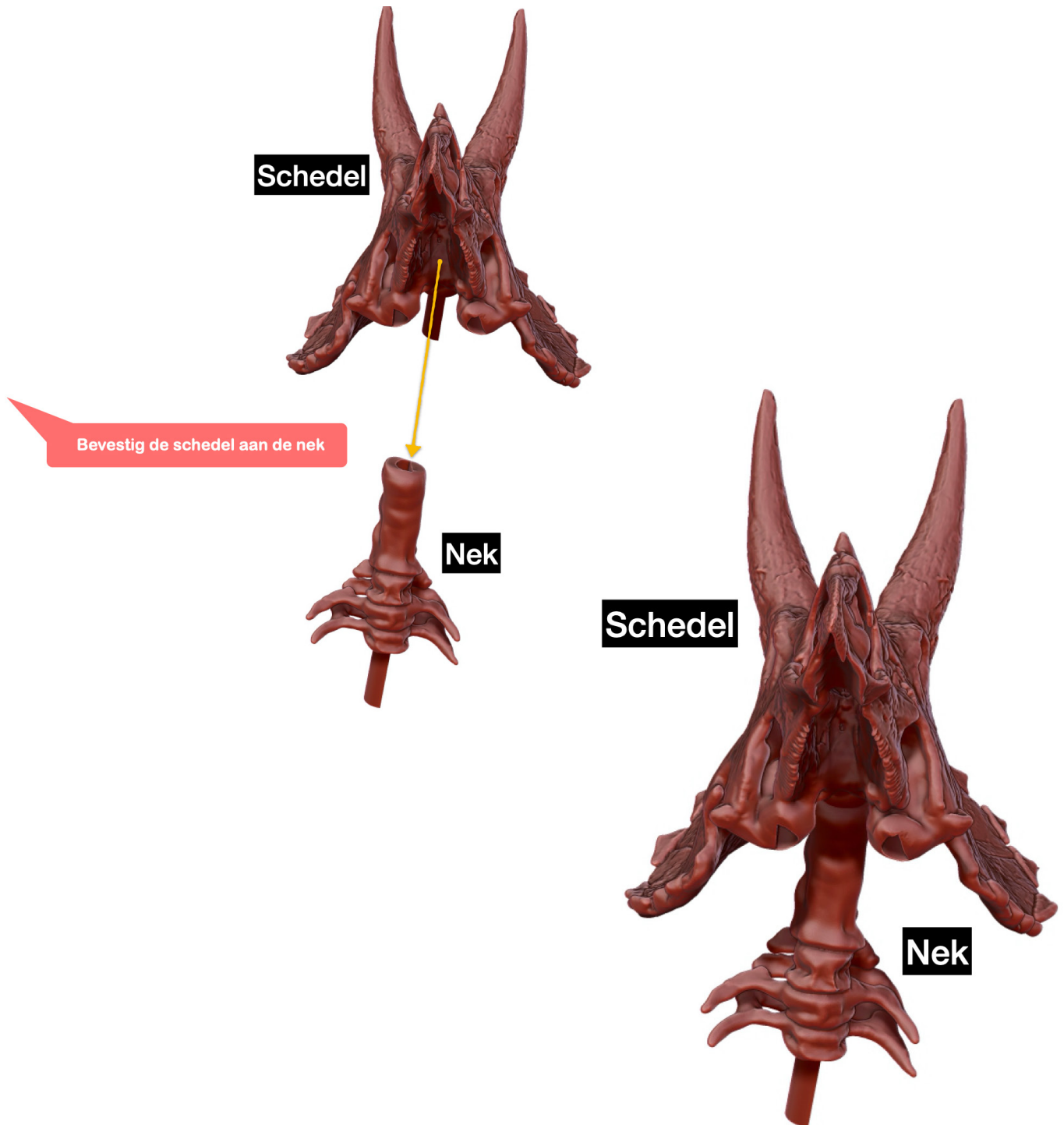
Kop



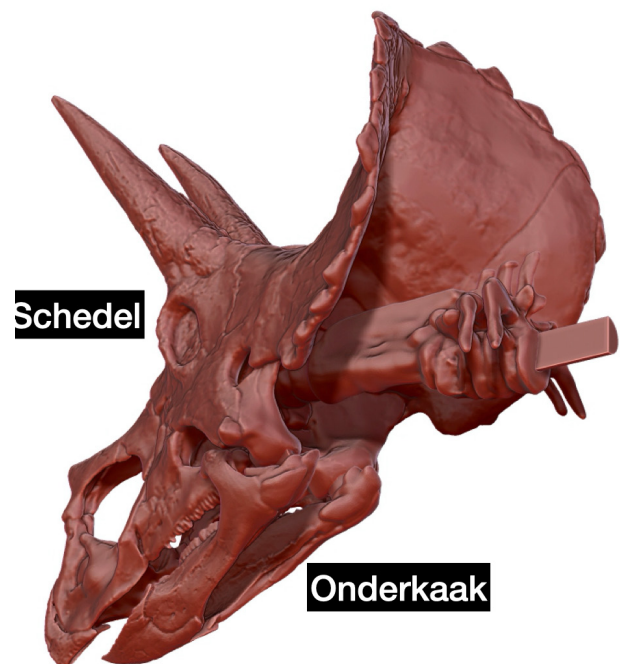
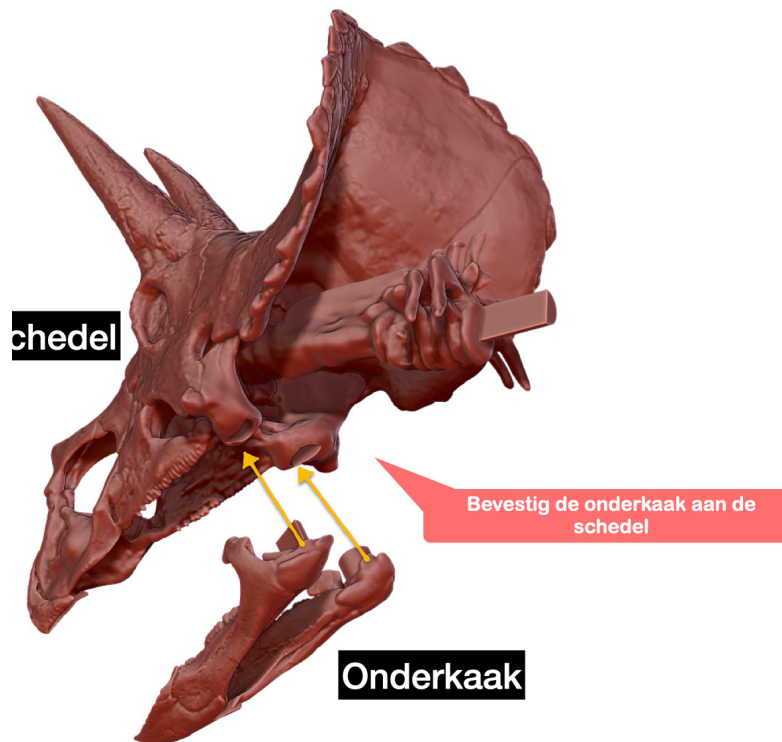
Kop 2



Kop 3



Kop 4



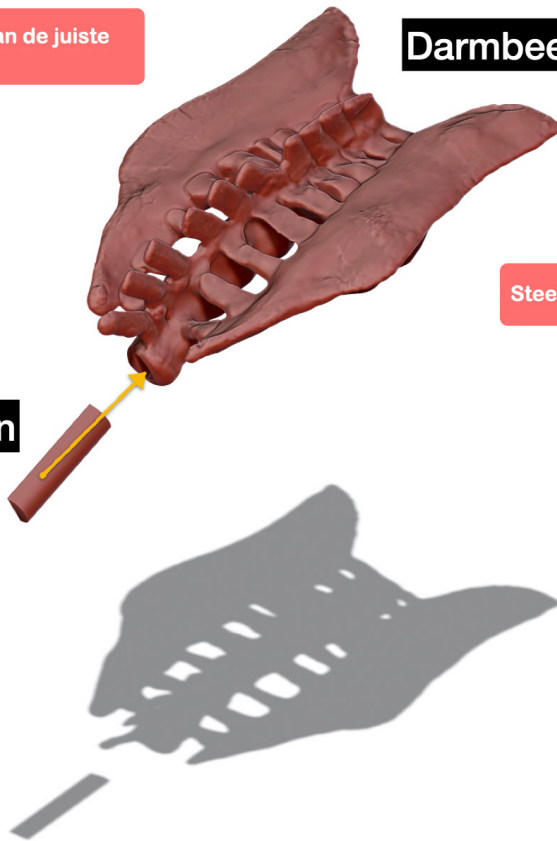
Heupen

Let op: steek de pin aan de juiste kant erin!

Darmbeen & heiligbeen

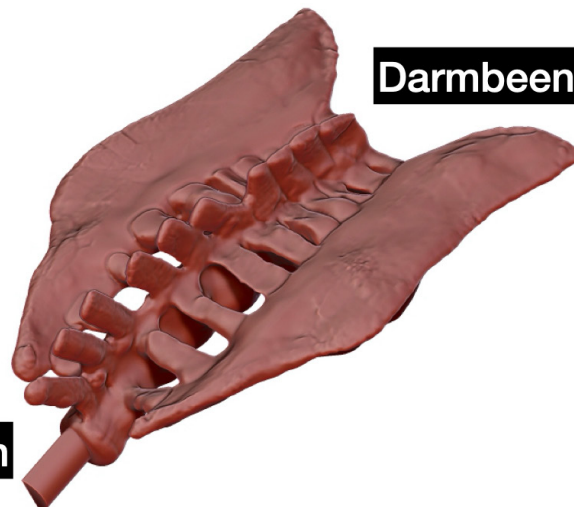
Steek de C-30 pin in het heiligbeen

C-30 pin



Darmbeen & heiligbeen

C-30 pin

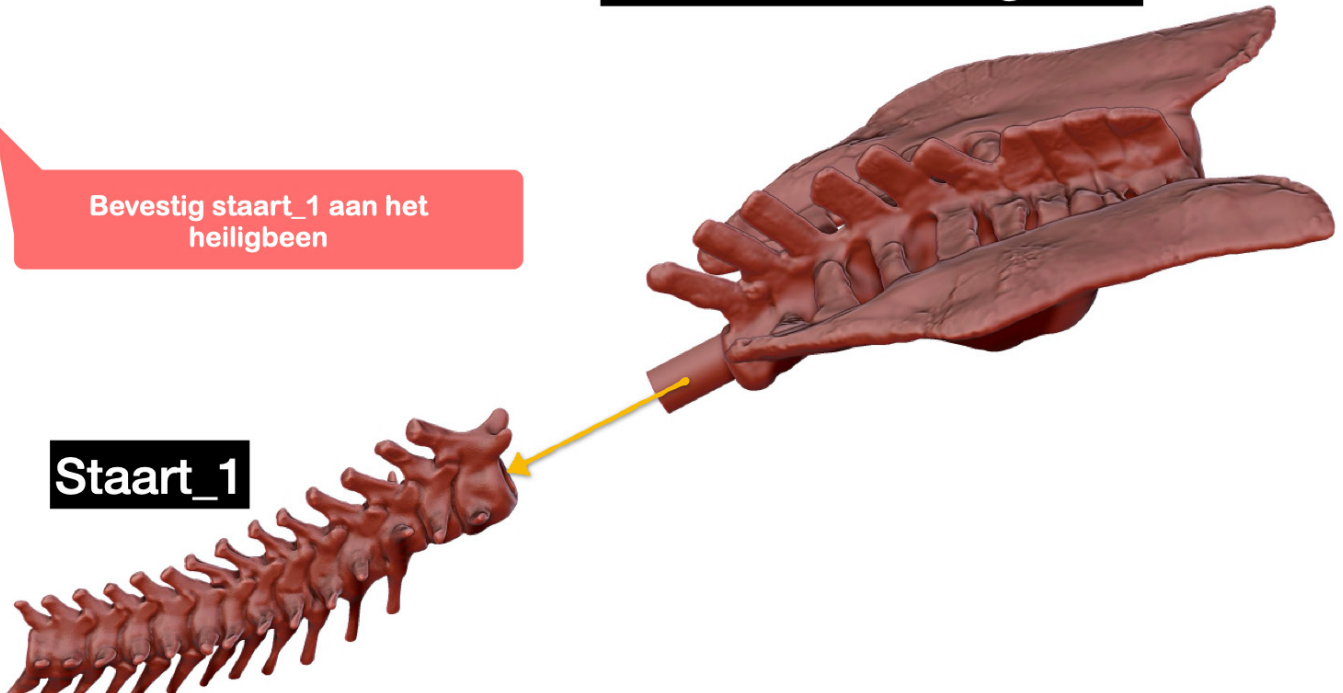


Staart 1

Darmbeen & heiligbeen

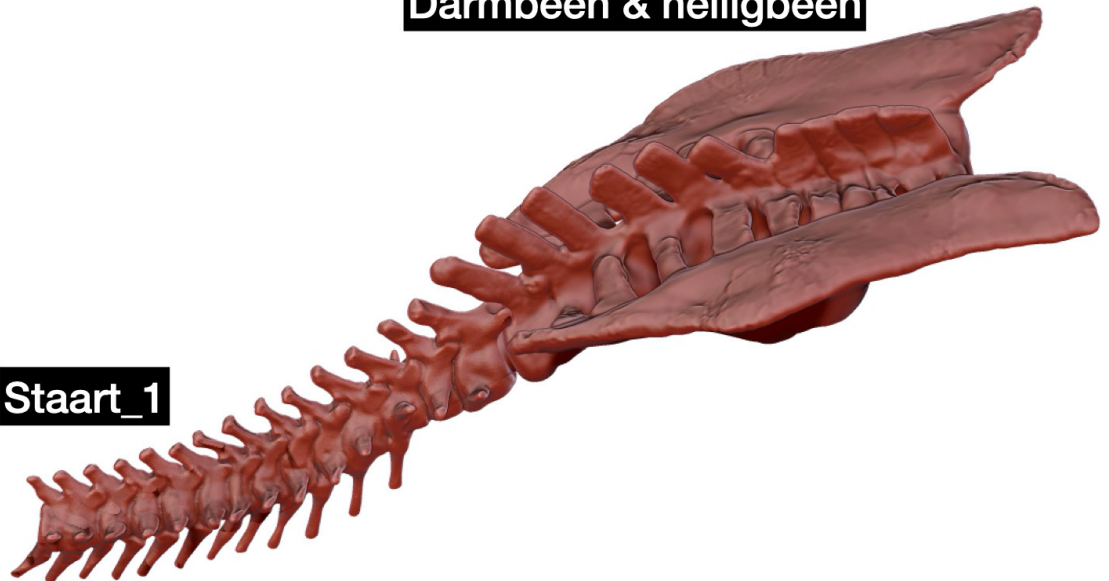
Bevestig staart_1 aan het heiligbeen

Staart_1

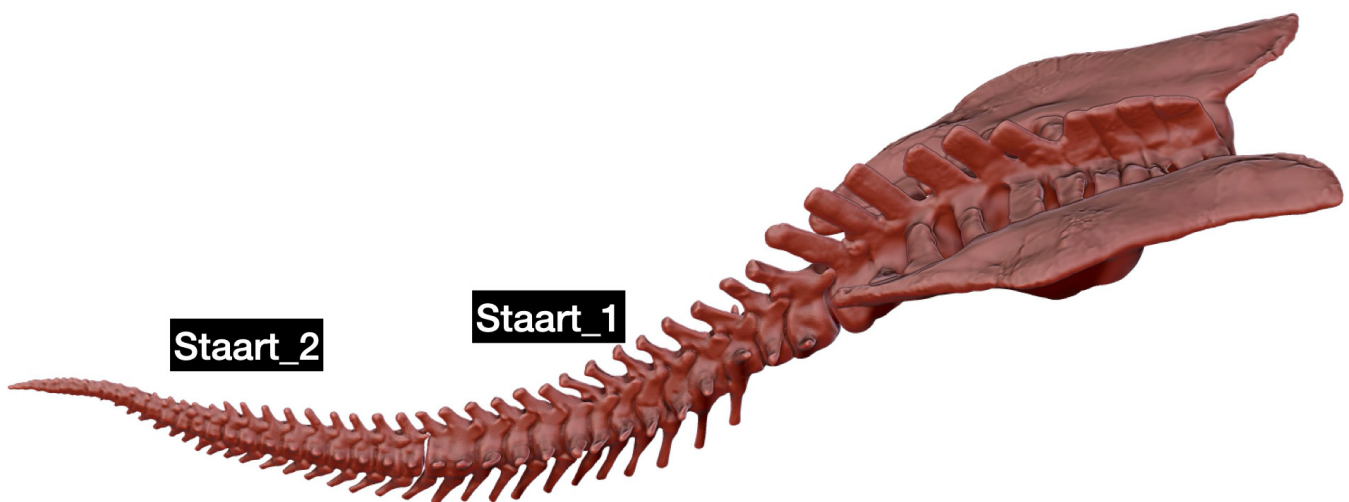
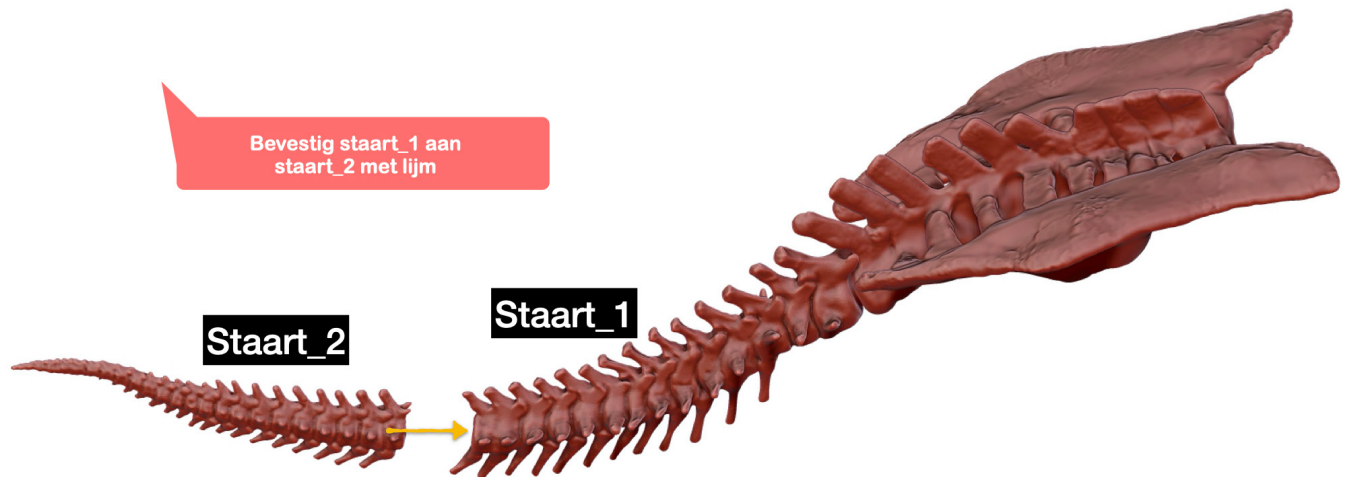


Darmbeen & heiligbeen

Staart_1

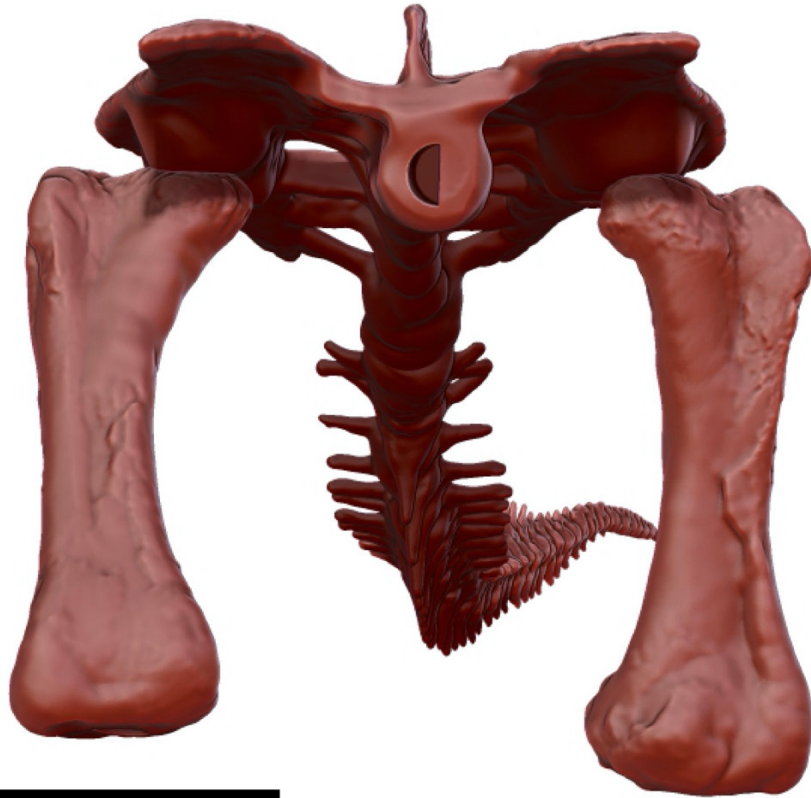


Staart 2



Dijbenen 1

Darmbeen & heiligbeen

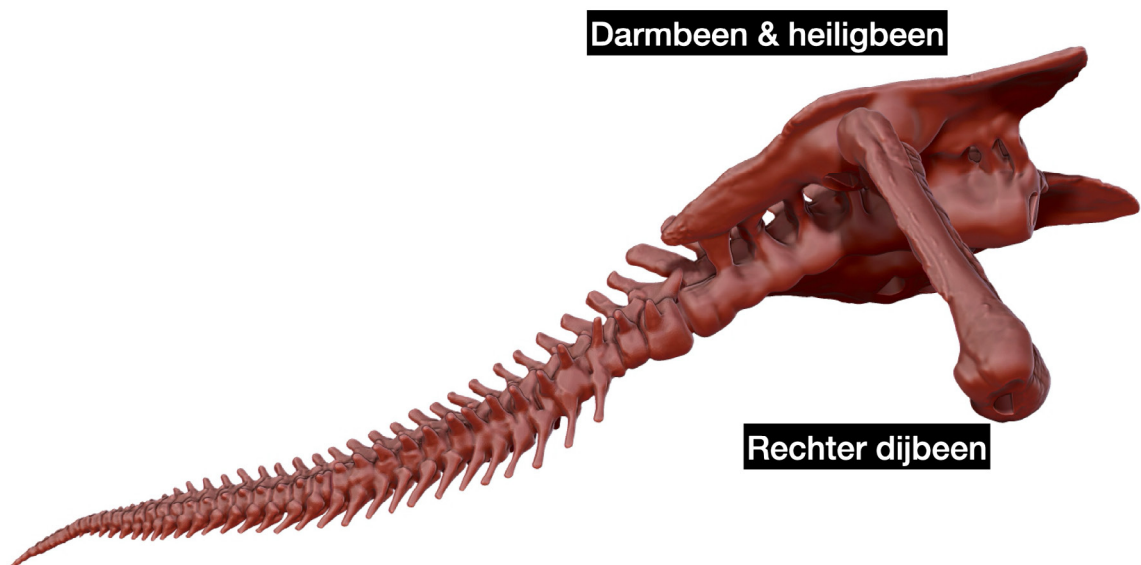
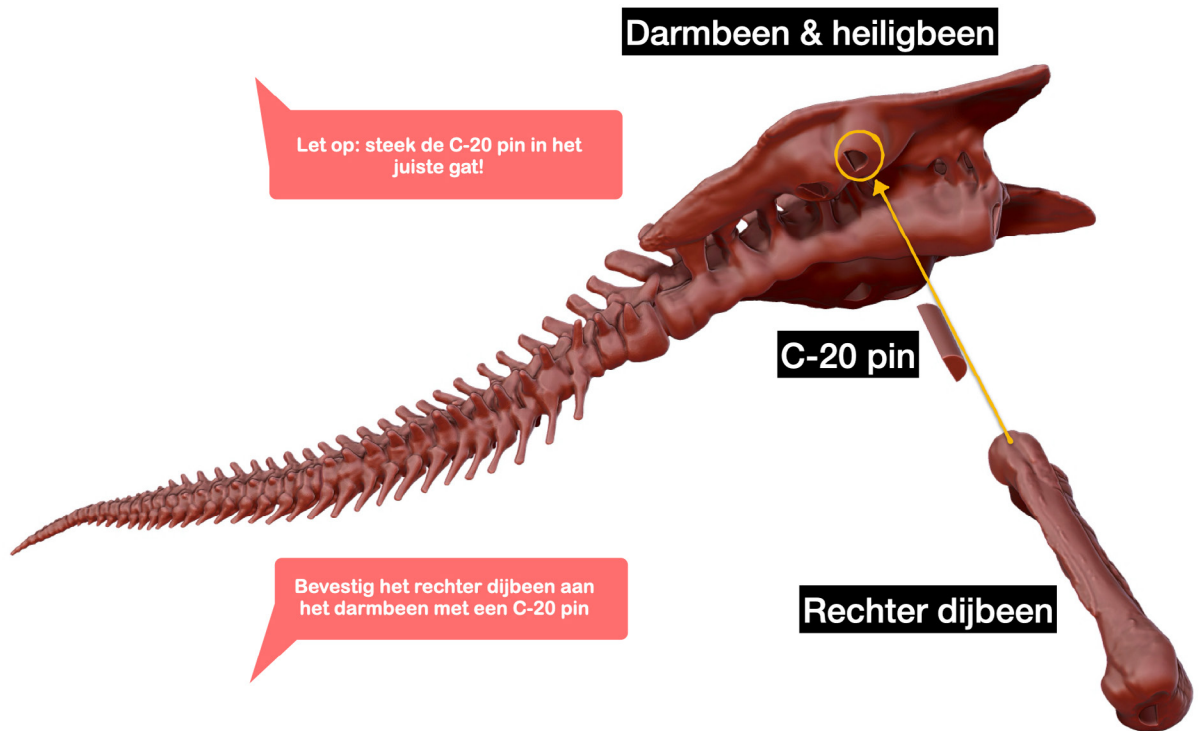


Rechter dijbeen

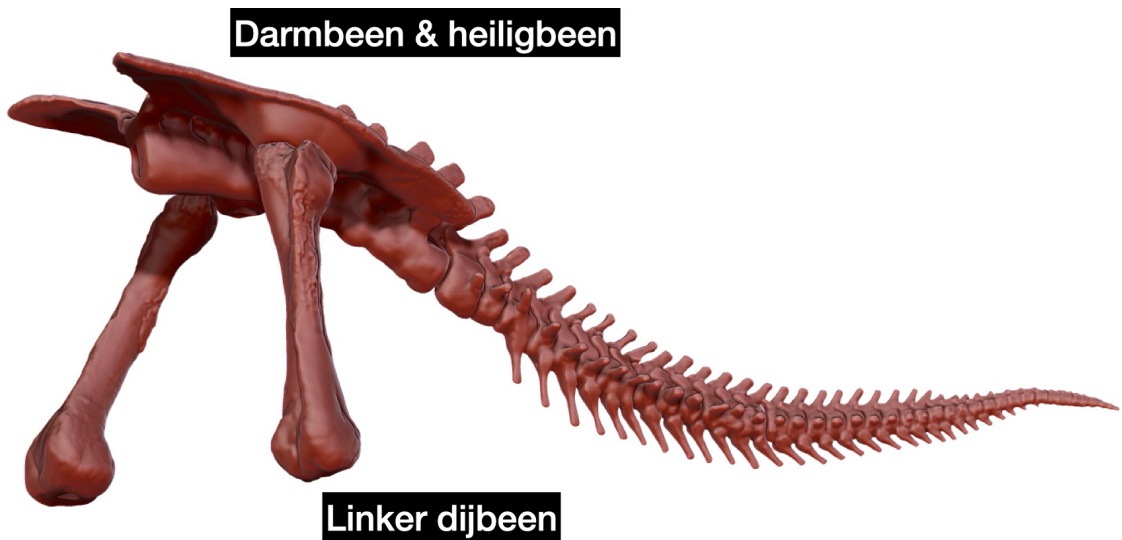
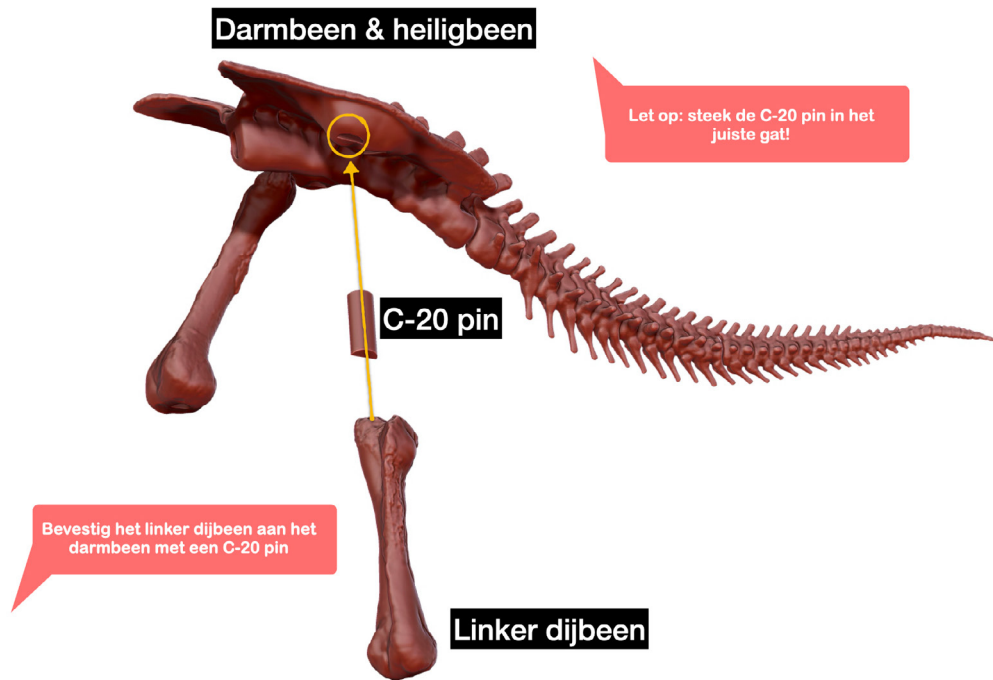
Linker dijbeen

Let voor de bevestiging op de juiste positie van de dijbenen!

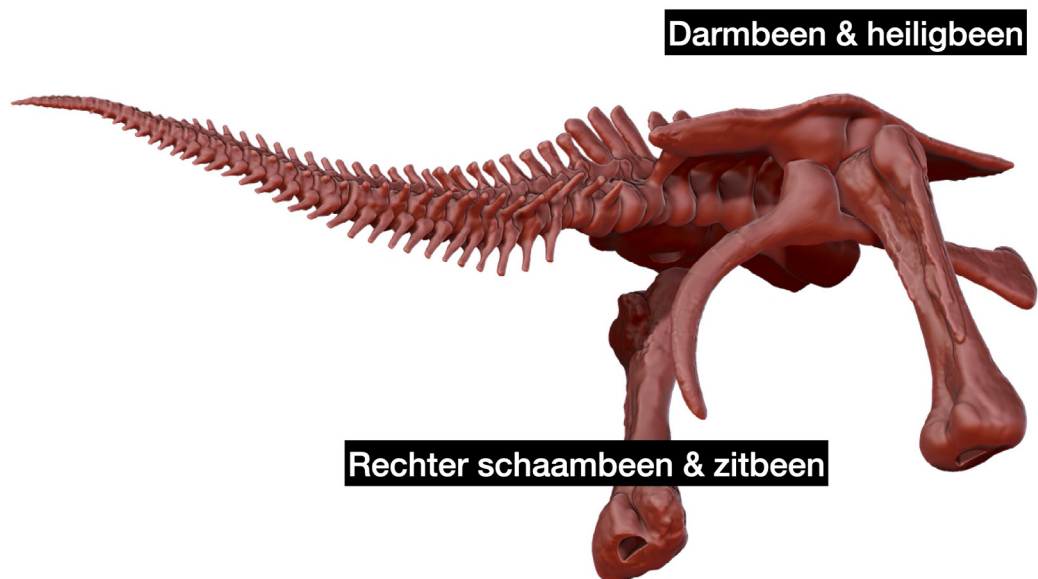
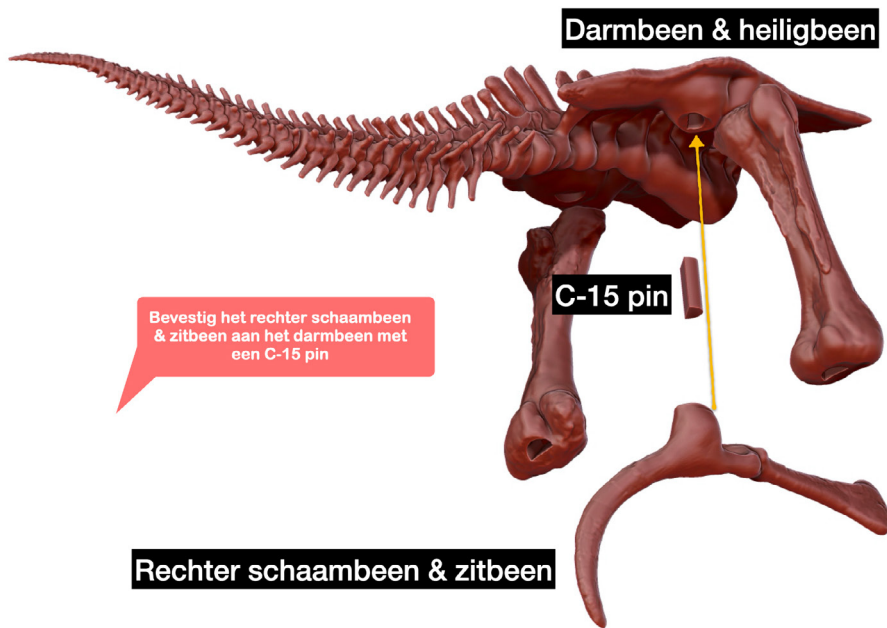
Dijbenen 2



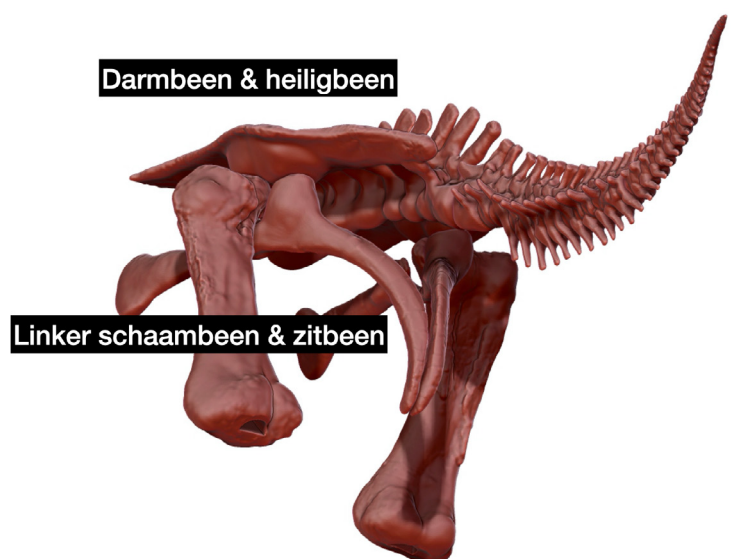
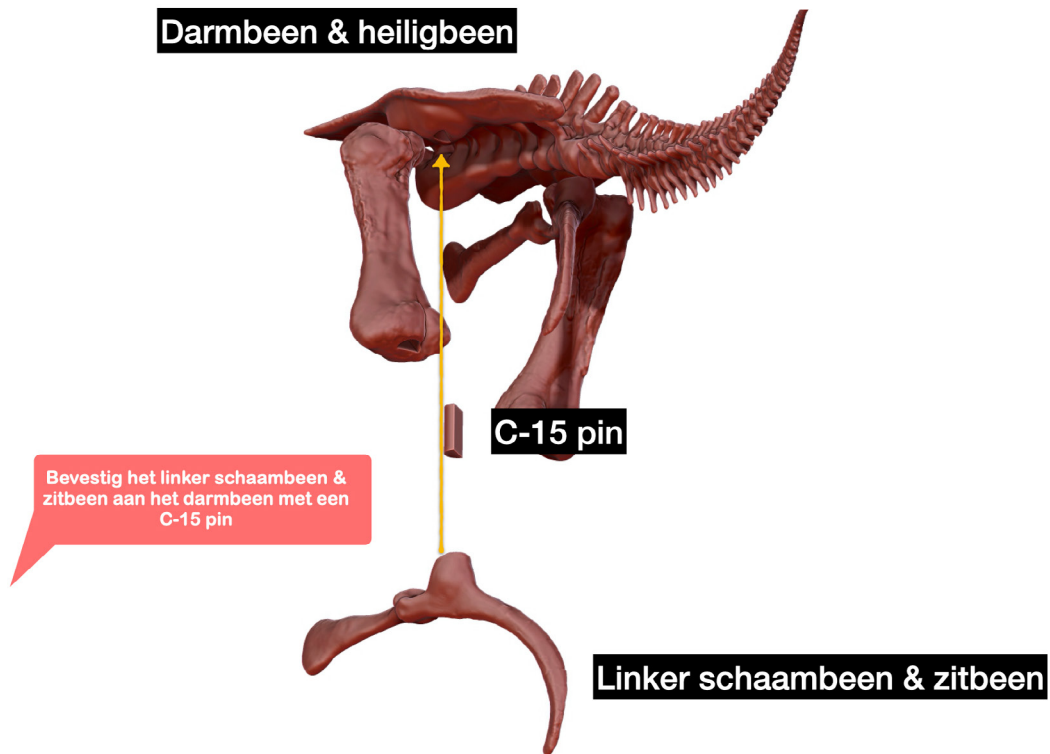
Dijbenen 3



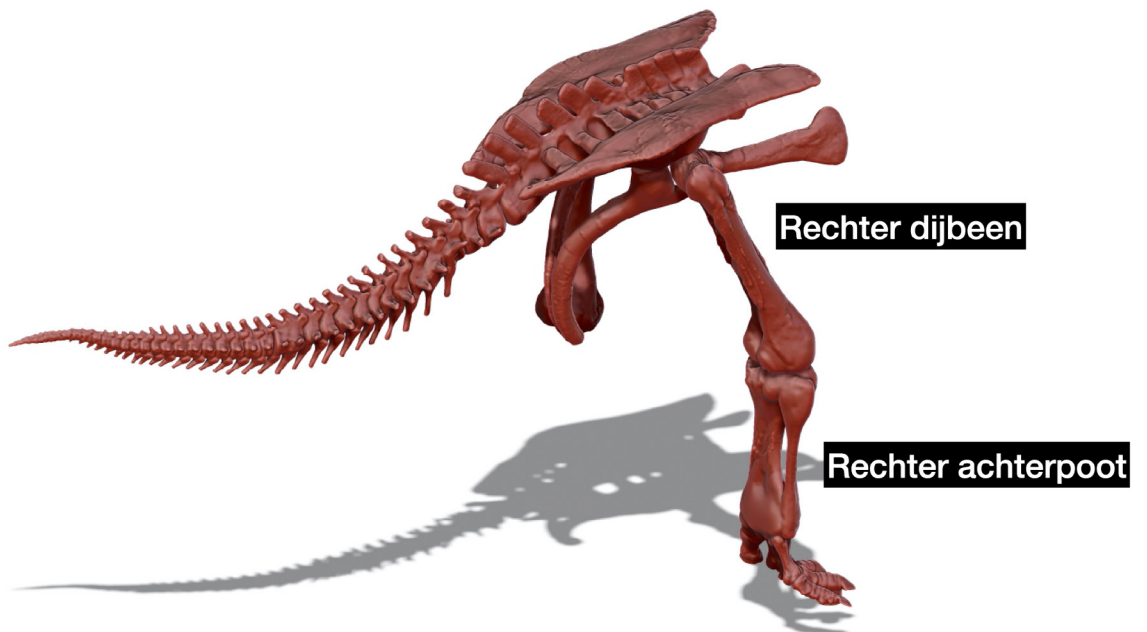
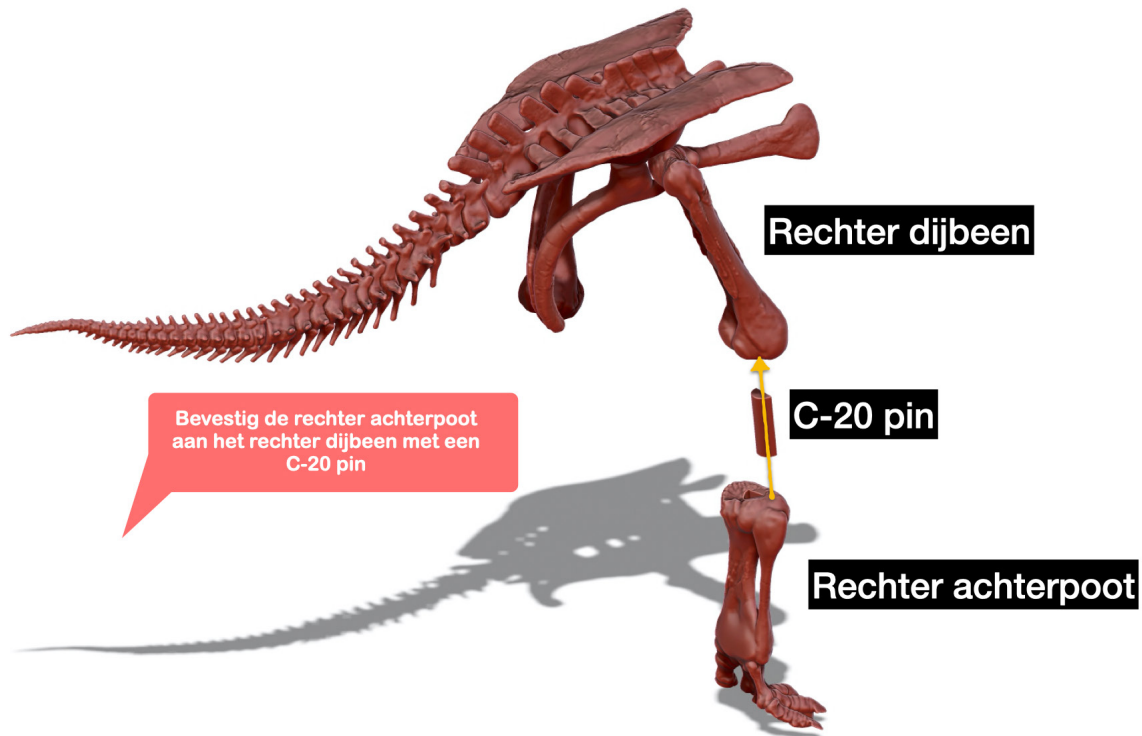
Schaambeen 1



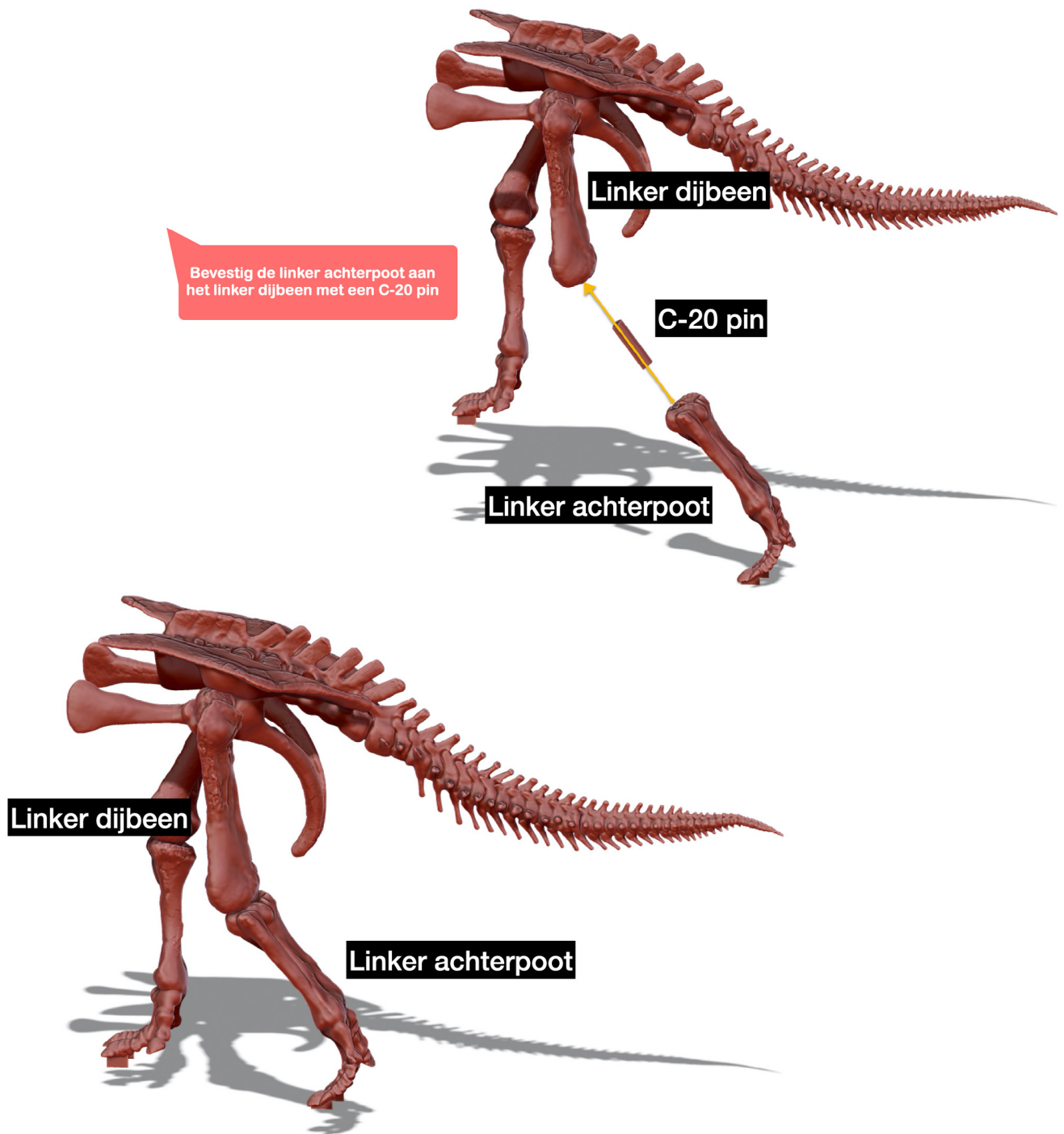
Schaambeen 2



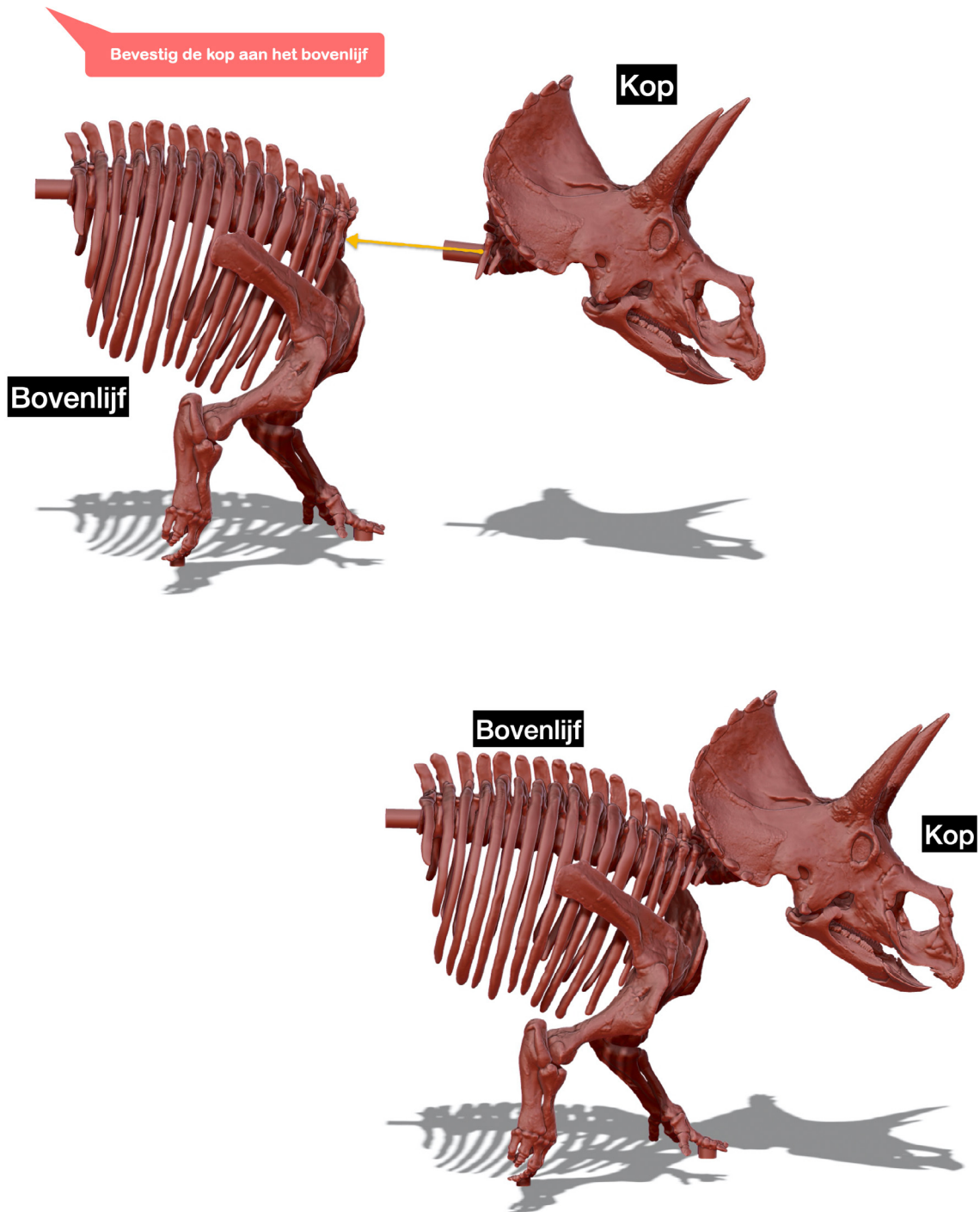
Achterpoten 1



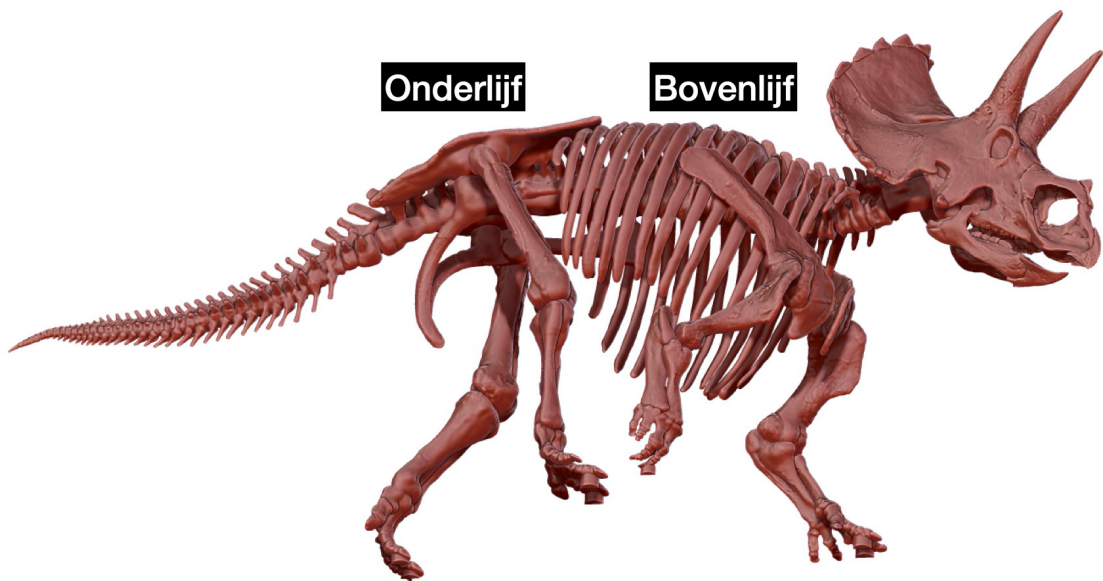
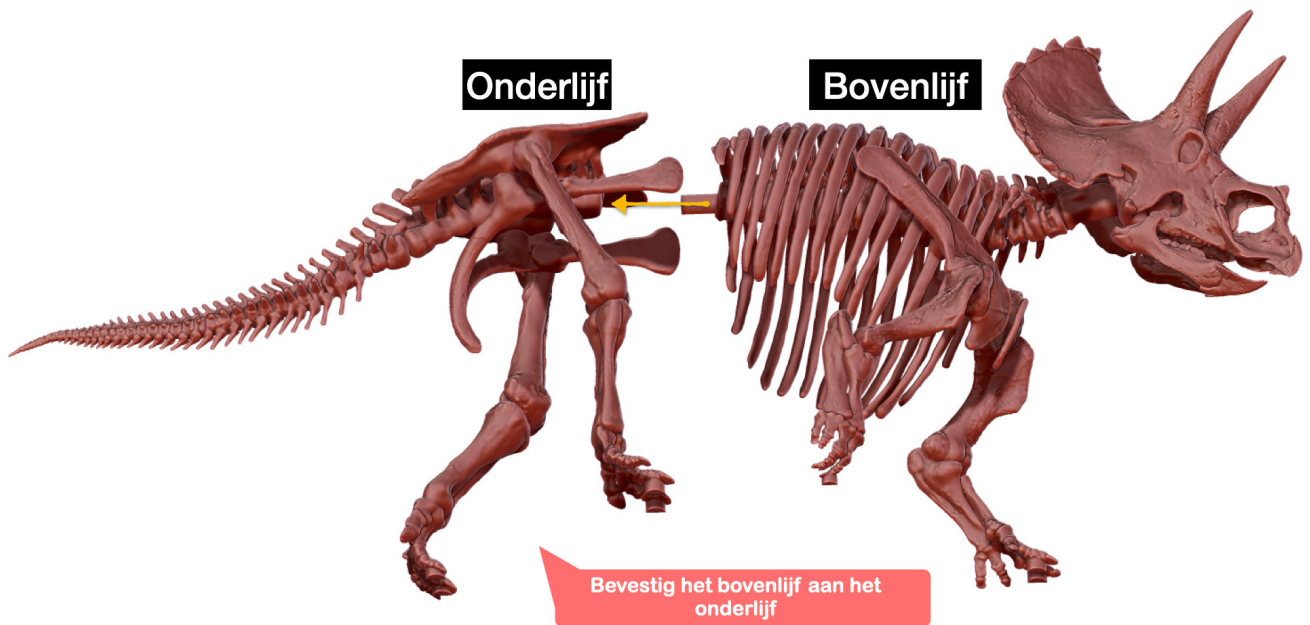
Achterpoten 2



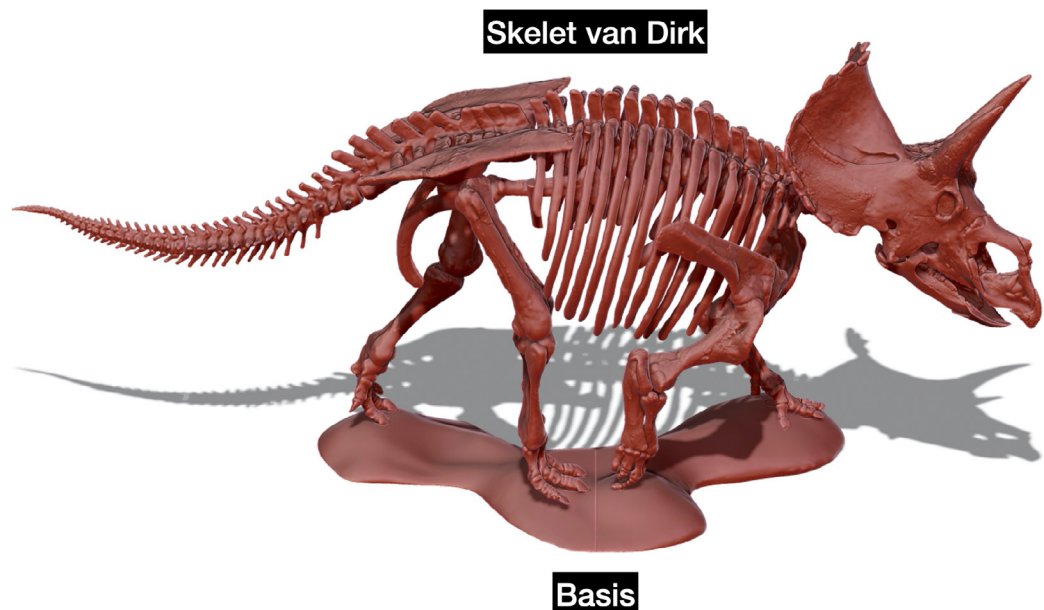
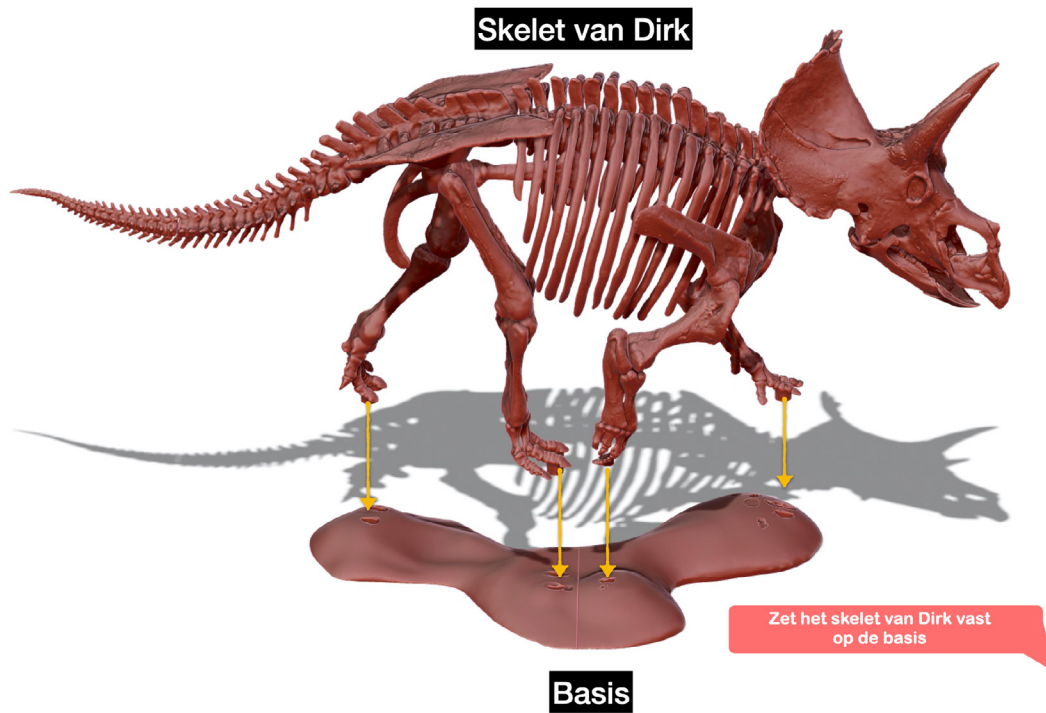
Bovenlijf



Bovenlijf en onderlijf verbinding



Verbinding met de basis



Dirk Skelet



Het voltooide model van Dirk

Links

Nodig voor les:

Printmateriaal + profiel met voorkeursinstellingen*:

https://www.naturalis.nl/uploads/manual/Printbestanden_en_Cura-profiel.zip

Verwonderpaspoort dino wereld:

<https://www.verwonderpaspoort.nl/verwonderwereld/dinos>

Extra:

Vlogs *Triceratops* opgraving:

<http://bit.ly/2go3gof>

Natuurwijzer artikelen over de dinotijd:

<https://natuurwijzer.naturalis.nl/themas/dinotijd>

*Deze profielen kunnen alleen gebruikt worden in Cura, de gratis te downloaden software van Ultimaker en kunnen gebruikt worden wanneer je zelf **stl's** wilt configureren. Let op: deze software hoeft niet gebruikt te worden wanneer de bijgevoegde **gcodes** direct gebruikt worden voor het printen.

