

Triceratops 'Dirk'

een fossiel nieuw leven inblazen



In deze handleiding:

Opbouw activiteit	3
Het verhaal van de zes triceratopsen	8
Printbestanden	17
Het model bouwen	21
Bronmateriaal	46

Doelgroep

Bovenbouw basisonderwijs (groep 5-8).

Duur

De leerlingen zullen in totaal een dagdeel met de activiteit bezig zijn.

Afhankelijk van de gemaakte keuzes en van welke en hoeveel onderdelen geprint worden, kan de activiteit verspreid over een hele week worden uitgevoerd. Deel de les naar eigen inzicht in. Ga aan de slag met een andere activiteit zolang de printer in werking is.

Doelen

- Leerlingen leren over de vorm en functie van dinosaurusbotten.
- Leerlingen krijgen een indruk van hoe *Triceratops* leefde.
- Leerlingen leren hoe wetenschappers onderzoek doen aan fossielen van dinosauriërs.
- Leerlingen leren over de mogelijkheden van 3D printen.

Aansluiting kerndoel

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.

Kernwoorden

Dinosauriërs, fossielen, onderzoekend leren, vragen stellen, vergelijken, verwonderen, vormgeven, 3D printen

Korte omschrijving activiteit

Hoe leefde *Triceratops*? En hoe reconstrueren we een dinosaurusskelet? Aan de hand van zelf ge-3D-printe botten komen leerlingen meer te weten over de functies van de verschillende botten, hoe het skelet van *Triceratops* in elkaar zit en hoe dit dier vele miljoenen jaren geleden heeft geleefd. De activiteit wordt afgerond met de bouw van een kleine tentoonstelling met triceratops-model (schaal 1:8). De vele achtergrondverhalen en filmpjes geven daarbij een unieke kijk op de wereld van *Triceratops*.



Opbouw activiteit

Download [hier](#) de 3D-scans van de botten van *Triceratops* in klein formaat. Print de botten in de klas. De koppelstukjes om de onderdelen mee aan elkaar te verbinden, zitten in de bestanden en worden dus automatisch mee geprint. Bedenk alvast welk van onderstaande scenario's de context van de activiteit wordt*:

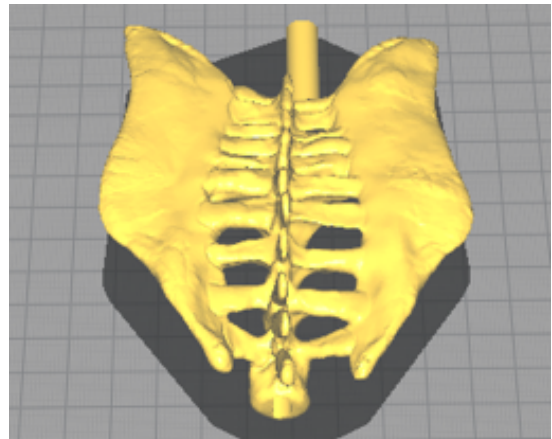
- A** Print **elk** onderdeel van het skelet. Hiermee kan een compleet model (schaal 1 op 8) van *Triceratops* gebouwd worden.
- B** Print slechts **een deel** van het skelet. Bepaal zelf welke delen. Deze optie raakt meer aan de werkelijkheid, aangezien er nog nooit een compleet skelet van *Triceratops* is gevonden.

*De gemaakte keuze heeft invloed op stap 7 van de activiteit.

Stap 1 Duur: +/- 9 uur

Zet een print van een onderdeel van het skelet van *Triceratops* aan (het 'Darmbeen en heiligbeen', zie afbeelding), om zo verwondering te creëren. Vertel de leerlingen dat ze een 3D-print activiteit gaan doen.

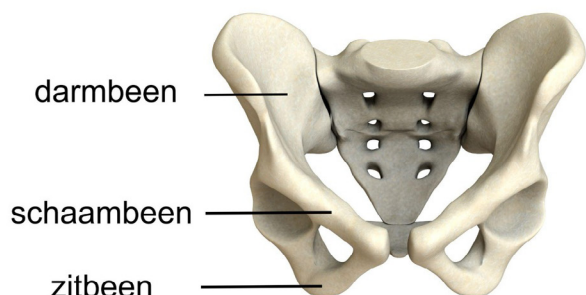
Zonder verdere inhoudelijke informatie aan de leerlingen te geven, vragen zij zich af wat er geprint wordt. Ze zijn nieuwsgierig, maar weten alleen dat de print het begin van een leuke activiteit is, waarbij nog meer geprint zal worden.



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 dinosaurius gaat dat in werkelijkheid ruim een meter lang is. Toon de [foto's](#) van een echt heiligbeen (zonder darmbeen) zoals deze in het dinolab bij Naturalis is geprepareerd. Laat leerlingen in kleine groepjes nadenken welk deel van het skelet het is. Vraag aan de leerlingen: waar zit dit bot bij jou? Toon aan het einde van dit onderdeel aan de hand van een skelet van de mens dat onze heupen vrijwel gelijk zijn aan die van deze dino, maar dat deze op een net iets andere positie in het lichaam

zit. Het geprinte bot bevat alleen het darmbeen (schaambeen en zitbeen is een aparte print).



De heup van een mens bestaat uit drie onderdelen: het darmbeen, schaambeen en zitbeen.

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

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

Stap 4 Duur: 1 uur

De groepjes leerlingen onderzoeken de afzonderlijke prints. Iedereen krijgt daarbij alle geprinte onderdelen in handen om te onderzoeken. Ze vergaren zelf extra informatie over botten, fossielen, spieren en dinosauriërs. Aan de hand daarvan tekent of knutselt iedere leerling het dier dat bij deze botten hoort. Hoe denken zij dat deze dinosaurius eruitzag? De creaties zullen verschillen. Het laat zien dat er veel mogelijkheden zijn.

Extra informatie om aan de leerlingen mee te geven

Wetenschappers doen hun onderzoek vaak 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*. Leerlingen hebben in stap 2 ontdekt dat de mens grotendeels (in ieder geval de heupen) dezelfde botten hebben als deze dinosaurius. Met andere woorden, het bouwplan (de botvormen) van moderne 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

In werkelijkheid vindt men niet alle botten terug. Bespreek kort de oorzaak daarvan met de leerlingen. Botten kunnen weggespoeld zijn met water, of verplaatst en opgegeten door aas- en vleeseters. Vertel de leerlingen dat de geprinte botten van een *Triceratops* zijn. Wat weten ze al over dit dier? Bekijk klassikaal één of meer van onderstaande filmpjes die uitleg geven over dit dier en de opgraving van fossielen.

Een flits uit de geschiedenis van *Triceratops*.

Het leven op de prairie.

Neusbot van *Triceratops*.

Het ingipsen van fossielen voor transport.

Bespreek wat de 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?



De leerlingen weten nu meer over de bouw van het skelet en hoe een opgraving in zijn werk gaat.

Extra informatie om aan de leerlingen mee te geven

In totaal zijn er niet één, maar zes triceratopsen gevonden, waarvan er vijf bij elkaar lagen. Het individu dat los van de groep lag is officieus 'Dirk' genoemd. De scans van de botten uit deze activiteit zijn van Dirk.

*Geen van de skeletten is compleet en alle fossielen van de vijf overige individuen lagen door elkaar. Alle botten zijn opgegraven, geprepareerd in het [dinolab](#) van Naturalis en in elkaar gezet tot skeletten die staan tentoongesteld. Gedurende dit proces is onderzocht hoe deze dieren leefden. Eén van de belangrijkste vragen daarbij: was Triceratops een kuddedier?**

Maak een keuze:

- A** Print alle resterende delen van het skelet. Print ook de basis waar het skelet op steunt.
- B** Print nog slechts enkele onderdelen. Let erop dat het skelet incompleet blijft. Deze optie bootst de vindplek van *triceratops* Dirk na.
- C** Print enkele botten meermaals (denk bijvoorbeeld aan zes schouderbladen/opperarmen) en print enkele (nog niet eerder geprinte) onderdelen. Deze optie bootst de vindplek van de groep van vijf gevonden triceratopsen na.

* Lees voor meer informatie over dit onderzoek 'Het verhaal van de zes triceratopsen' verderop in de handleiding.



Zo ziet het complete model van *Triceratops* 'Dirk' eruit (schaal 1:8).

Stap**7****Duur: 2 uur****Wanneer gekozen om het complete skelet te printen (optie **A**):**

aan. Laat enkele leerlingen het *Triceratops* skelet in elkaar zetten als alle onderdelen geprint zijn. De onderdelen kunnen ze aan elkaar koppelen met koppelstukjes. 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.

Wanneer gekozen om slechts een deel van het skelet te printen (optie **B/C):**

Wanneer één of 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 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? Hoe is de groep dieren om het leven gekomen? En de belangrijkste onderzoeksvraag: 'waren het kudde-dieren?'

Verdeel de leerlingen in een aantal groepen. Iedere groep beantwoordt een andere vraag door op een groot blad het antwoord te schrijven, voorzien van argumenten hiervoor. Na 5 à 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 de zes triceratopsen achterin deze handleiding.

Willen de leerlingen meer te weten komen over Naturalis en de dinosaurussen? Bekijk dan [Triceratops TV](#). Op dit online platform zijn vele filmpjes te vinden over het opgraven van dino's, het prepareren van botten en het in elkaar zetten van een skelet. Ook leuk om te kijken is de [aflevering van Klokhuis](#) over de tijdgenoot van *Triceratops*: *T. rex*. 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 natuurlijk heel bijzonder om te ervaren hoe het is om naast deze machtige dieren te staan. Kom Naturalis dus bezoeken! Kijk op onze [website](#) naar de mogelijkheden. In het dinolab in de zaal LiveScience kun je dan meteen onze preparateurs aan het werk zien. Hier worden echte fossielen bewerkt en uiteindelijk in elkaar gezet tot nieuwe skeletten. De leerlingen mogen hun vragen direct aan de preparateur stellen. LiveScience is altijd gratis toegankelijk.

Geen mogelijkheid om naar Naturalis toe te komen? Boek dan een [online gastles](#)!



In het dinolab van Naturalis kijk je mee met een preparateur. Stel al je vragen!

Het verhaal van de zes triceratopsen

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 (bv. *Edmontosaurus*) 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 (afbeelding 1). 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.



Afbeelding 1.

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

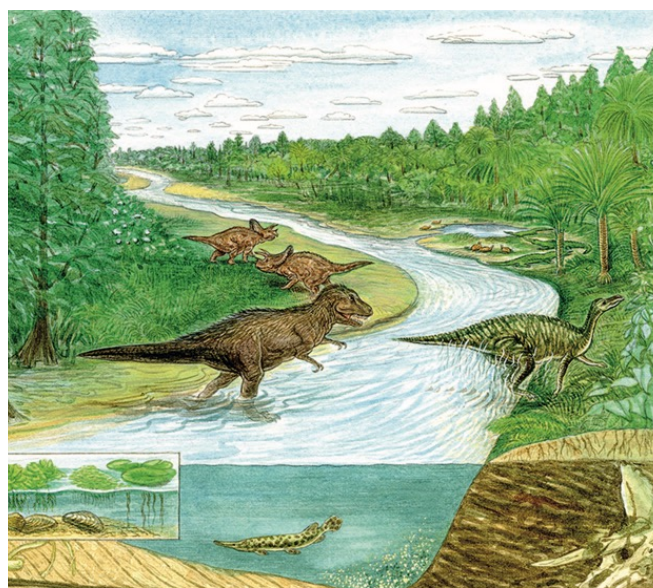
Paspoort



Soort:	<i>Triceratops horridus</i> (Drie-hoorn-gezicht)
Geslacht:	onbekend
Lengte:	tot 9 meter
Gewicht:	4000 tot 7500 kilo
Leefperiode:	Laat Krijt: 69 tot 66 miljoen jaar geleden
Leefgebied:	Westelijk Noord-Amerika

Het klimaat

Het klimaat was subtropisch met open bosgebied (zie Afbeelding 2). 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 overstromden de rivieren regelmatig. Zo ook op de plek waar de triceratopsbotten 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.



Afbeelding 2.

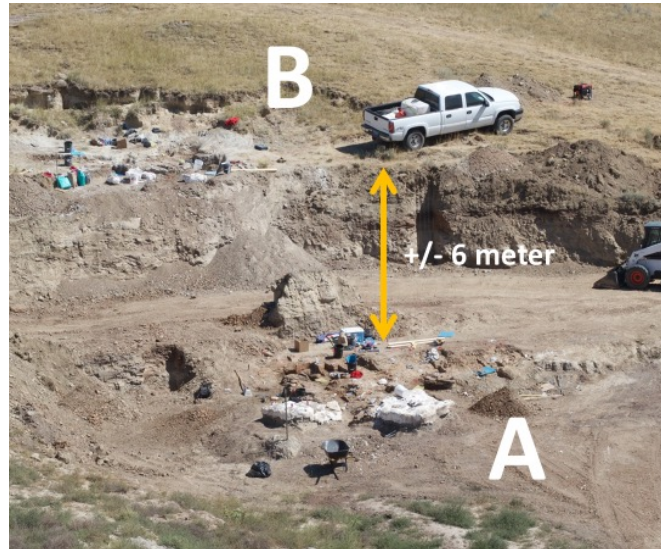
Impressie van het vlakke rivierenlandschap in Montana waar *Triceratops* 67 miljoen jaar geleden rondliep, getekend door Inge van Noortwijk.

De vindplaats

De vindplaats (Afbeelding 3) 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 (Dirk), beneden van vijf. Het hoogteverschil tussen de sites is ongeveer 6 meter, wat overeenkomt met grofweg ongeveer 5.000 tot 15.000 jaar verschil in tijd. In totaal zijn er bijna 1800 botfragmenten gevonden.

Afbeelding 3a.

Beide sites vanuit de lucht gezien. Het hoogteverschil van 6 meter geeft aan dat de dieren op vindplaats A niet op hetzelfde moment leefden als Dirk (B).



Afbeelding 3b. Site A.



Afbeelding 3c. 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 aardkrachten 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 verwerking en erosie.

Er verdween dus steeds meer zand waardoor de dinosauriërs uiteindelijk weer aan het oppervlak kwamen te 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* is gevonden ('Hell Creek formation'), zijn onderzoekers er nog niet over uit of beide lagen even oud zijn, maar daar lijkt het vooralsnog wel op.

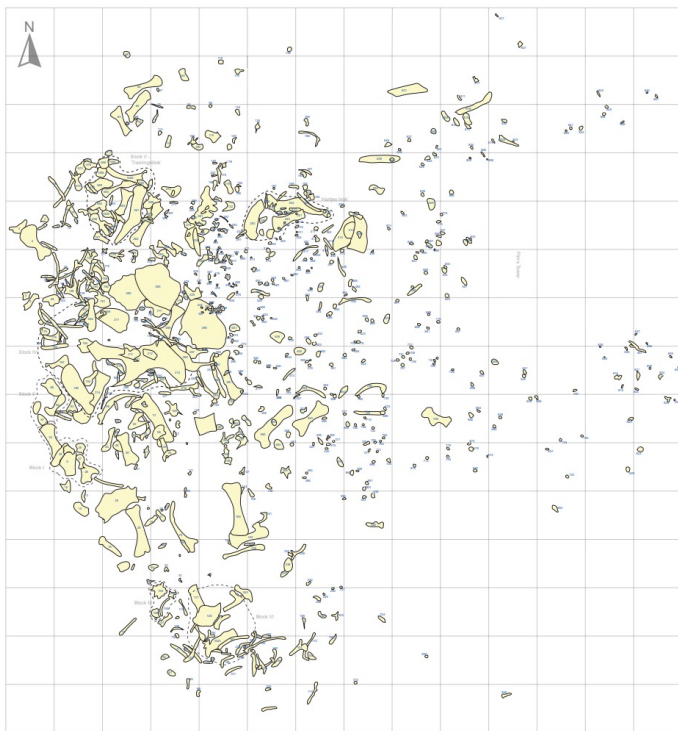
Hoe zijn de resten zo goed bewaard gebleven?

De grondlagen rond de fossielen zijn goed van elkaar te onderscheiden (afbeelding 4). De fossielen zijn boven op de kleilaag gevonden. De laag erboven heeft de resten van *Triceratops* bedekt. Het bestaat uit homogeen zandsteen, nagenoeg zonder gelaagdheid. Dit is zeer waarschijnlijk tijdens een doorbraak van de rivier in één keer afgezet op de kleilaag (deze gebeurtenis heet ook wel een 'crevasse splay'). Waarschijnlijk heeft er nog een tweede keer een dijkdoorbraak plaatsgevonden, beide vanuit verschillende richtingen. Dit is af te leiden uit de diktes van de afgezette zandlaag op verschillende locaties rondom de fossielen. Hierdoor zijn de fossielen allemaal door elkaar gehusseld (afbeelding 5).



Afbeelding 4.

De triceratopsfossielen zijn gevonden in een kleilaag en zijn destijds snel bedekt geraakt door een laag zandsteen. De groene lijn geeft de grens tussen beide lagen aan.



Afbeelding 5.

De verspreiding van de fossielen in het veld.

Hoe kwamen de triceratopsen om het leven?

Van *Triceratops Dirk* is dat niet duidelijk. Onderzoekers hebben vooral de doodsoorzaak van de groep triceratopsen van de lager gelegen site proberen te achterhalen. Waarschijnlijk zijn deze dieren op de vindplek gestorven, maar hoe? Zeker weten doen de onderzoekers dat niet, maar er is iets gebeurd dat de dieren vlak voor hun dood het water heeft ingejaagd. Mogelijk zijn ze geschrokken van bijvoorbeeld een blikseminslag (afbeelding 6), maar zeker is dat niet. De dieren zijn vervolgens vast komen te zitten in de moerassige rivieroever en waarschijnlijk verdronken.

Is de precieze doodsoorzaak bekend?

Hoewel inmiddels in grote lijnen duidelijk is wat er met de dieren is gebeurd vlak na hun dood, is de precieze doodsoorzaak nog steeds onduidelijk. Er zijn verschillende hypothesen

opgeworpen. Er zou bijvoorbeeld een grote brand gewoed kunnen hebben. 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. Dat zou te zien moeten zijn aan resten houtskool in de grondlagen. Met andere woorden: verbrand hout en plantenmateriaal. Toch betekent het vinden van veel houtskool niet per se dat er brand heeft gewoed. Hout kan namelijk ook door de hoge druk in de aarde in (versteend) houtskool veranderen. Ook blikseminslagen die een kudde in één keer om het leven doen komen of droogte die alle dieren bij elkaar rond een waterput heeft doen verzamelen, waar ze van de honger omkwamen, zijn mogelijkheden. Hiervoor zijn alleen geen aanwijzingen gevonden. Het is dus nog onduidelijk of de dieren door brand, blikseminslag, droogte, hongersnood of door iets heel anders om het leven zijn gekomen.



Afbeelding 6.

De groep Triceratopsen is mogelijk ergens van geschrokken en per ongeluk in het water vast komen te zitten. Tekening door Nadia de Waal.

Zijn ze samen gestorven?

Ja, de kleilaag rond de fossielen bestaat uit heel fijnkorrelig materiaal. Dit duidt erop dat er rond de plek waar de Triceratopsen zich bevonden zwakke tot geen hydrodynamische activiteit was. Met andere woorden: er was weinig beweging in het water. De dieren zijn dus vast komen te zitten in een kleilaag in stilstaand water. Daarnaast zijn alle botten in vrijwel dezelfde (klei)laag gevonden. Het gebrek aan fossielen van andere dinosauriërs duidt er bovendien op dat de groep in één klap is gestorven, anders hadden er meer diersoorten gevonden moeten worden. Hiermee is bewezen dat de dieren ten tijde van hun dood samen waren en dus niet na hun dood vanaf verschillende locaties bij elkaar zijn gespoeld.

Zijn de dieren na hun dood meteen bedekt geraakt?

De resten van de dieren zijn niet meteen bedekt met zand. Dat weten we omdat 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 en er zijn geen vraatsporen gevonden. Dit betekent dat ze toch relatief snel na hun dood (in ieder geval deels) bedekt zijn geraakt, waarschijnlijk door eerder genoemde crevasse splays.

Hoe leefde Triceratops?

De gevonden fossielen geven aanwijzingen over de leefwijze van deze dieren. Waren het kuddedieren of niet (afbeelding 7)?

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 triceratopsen bij elkaar lagen. Maar dat er nu voor het eerst een groep gevonden is, wil ook niet meteen zeggen dat ze altijd in kuddes rondliepen: mogelijk waren de dieren tijdelijk bij elkaar vanwege de paringstijd of omdat ze naar dezelfde drinkplaats trokken. Een lastige onderzoeksvraag dus, maar met de vondst van zoveel fossielen kon er gedegen onderzoek worden gedaan.



Afbeelding 7. Zou *Triceratops* in een kudde geleefd hebben? Het laatste onderzoek wijst uit dat dit heel aannemelijk is.

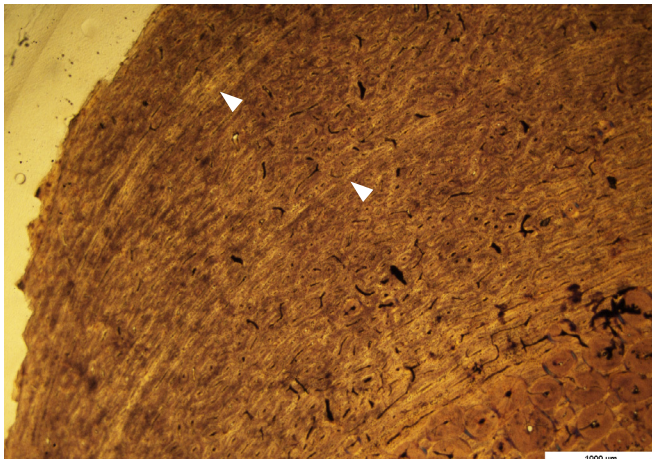
Wat is er allemaal onderzocht?

De belangrijkste onderzoeksvraag: was *Triceratops* een kuddedier? Om deze vraag te beantwoorden zijn verschillende onderzoeken gedaan.

Botonderzoek (histologie)

Aan de hand van botonderzoek kan een schatting van de leeftijd van een *Triceratops* worden gemaakt. Hiervoor is het groeipatroon van de fossielen in kaart gebracht.

De onderzoekers boorden een stukje bot uit een pootbot en onderzochten dit onder de microscoop. Soms zijn er in deze botten groeilijntjes te zien (afbeelding 8). Deze markeren periodes waarin een dier minder snel groeide. Het is een beetje vergelijkbaar met



Afbeelding 8. Zichtbare groeilijntjes in bot.

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 om zo het bot te onderhouden. Dit zogenaamde secondary bone remodelling maskeert de informatie over groei die er potentieel uit het bot te halen valt. 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 bevond. 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 (afbeelding 9). 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 van de resultaten ontdekten de onderzoekers een verschil in leeftijd van de dieren. Ze kwamen tot twee leeftijdscategorieën: jongvolwassenen en volwassenen, waarbij de schatting is dat het oudste dier uit de groep rond de 25 jaar is geworden.

Afbeelding 9. Uitsteeksels (kantelen) op het nekschild van *Triceratops* (A). Een stuk nekschild met kanteel uitvergroot (B) Het gaat hier zeer waarschijnlijk om een jongvolwassen dier. In het nekschild van een ouder dier (C) zijn nauwelijks kantelen zichtbaar. Op basis van de resultaten werden twee leeftijdscategorieën bepaald: jongvolwassen en volwassen dieren.



Tanden (isotopenonderzoek)

'Je bent wat je eet.' Een uitspraak die ook voor *Triceratops* geldt. Door de tanden van *Triceratops* (afbeelding 10) te onderzoeken zijn onderzoekers er achter gekomen of de dieren samen leefden. De tanden slaan namelijk informatie op over het voedsel dat is gegeten.



Afbeelding 10. Tand van een *triceratops*.

Enamel

Bij een levende *triceratops* zette zich dagelijks een klein laagje glazuur (enamel) aan de buitenkant van een nieuwe kies af. Een tand bestaat uit ongeveer tachtig tot negentig laagjes. Hierdoor kan men maximaal negentig dagen terug in de tijd 'kijken'. De 90e laag werd afgebroken wanneer een nieuw laagje ontstond, anders zou de tand steeds groter zijn geworden. Wanneer de tand volgroeid en helemaal doorgekomen was, sletten de lagen langzaam af.

Isotopen

Ook de samenstelling van de laagjes tand is belangrijk. Als een nieuw laagje gemaakt wordt, neemt de tand bepaalde stofjes op. Deze stofjes heten isotopen. Dat zijn verschillende vormen van bepaalde stoffen. Koolstof en zuurstof kunnen bijvoorbeeld verschillende vormen hebben. Het ene koolstof- of zuurstofdeeltje weegt meer dan het andere. Door die verschillende isotopen te meten kan worden achterhaald wat de dieren aten.

Afhankelijk van wat het dier heeft gegeten of gedronken, bestaat elk laagje tand uit een andere hoeveelheid isotopen. Door de isotopen van het ene individu te vergelijken met die van een ander individu, kan men achterhalen of zij samen hebben geleefd gedurende de laatste negentig dagen van hun leven.



Afbeelding 11. Linker bovenkaak van *Triceratops*.

Migratie

Het isotoop strontium is gebruikt in het kudde onderzoek. De verhouding van verschillende strontium isotopen verschilt namelijk per type grond. Als verschillende verhoudingen van deze isotopen worden teruggevonden in de verschillende lagen van één tand, dan is het zeer goed mogelijk dat *Triceratops* een migrerend dier was.

Conclusie

De resultaten van deze onderzoeken maken het heel aannemelijk dat het om kuddedieren gaat:

- Het botonderzoek laat zien dat de dieren verschillen in leeftijd.
- Het isotopenonderzoek toont dat de dieren de laatste 90 dagen van hun leven samen hebben doorgebracht.
- Het geologisch onderzoek toont aan dat de dieren samen zijn gestorven en begraven.
- Het migratieonderzoek laat zien dat de dieren zich niet over grote afstanden verplaatsten.

Of *Triceratops* een echt kuddes vormde kan nog niet met zekerheid worden gezegd, maar de resultaten van de onderzoeken laten wel zien dat deze vijf dieren samen hebben geleefd.

Meer weten? Bekijk het [interview](#) met onderzoeker Jimmy de Rooij of de [explainer](#) over het onderzoek aan de tanden.

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 2 miljoen 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.



Afbeelding 12. Het skelet van *Triceratops* Dirk in museum Naturalis.

Het resultaat

Inmiddels zijn alle fossielen van *triceratops* geprepareerd en in elkaar gezet tot skeletten. *Triceratops* Dirk (vernoemd naar vrijwilliger Dirk Cornelissen, die veel aan deze fossielen heeft gewerkt, afbeelding 13) is in zaal De dinotijd van Naturalis te bezichtigen. De kudde heeft zijn eigen tijdelijke tentoonstelling gekregen. Daarna zullen ze op wereldtournee gaan om vervolgens hun laatste rustplaats in Naturalis te vinden.



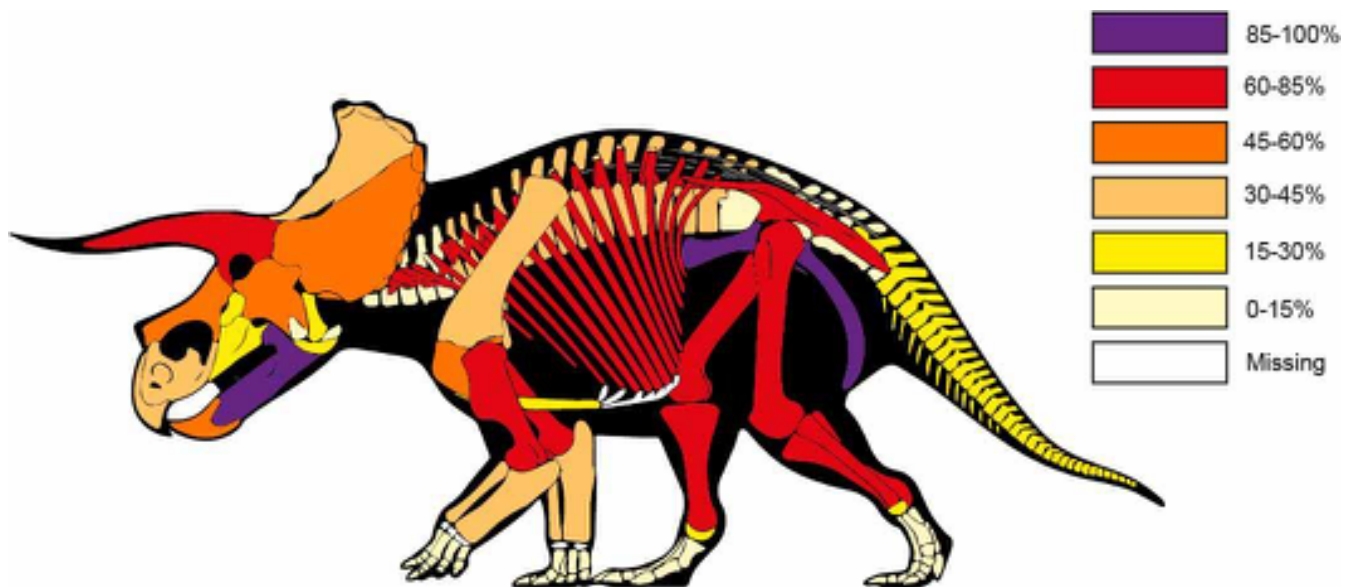
Afbeelding 13.
Vrijwilliger Dirk lijmt een fossiel
van *Triceratops*.

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% qua aantal botten. Het skelet bestaat uit ongeveer 300 botten. Daarvan zijn er 61 (deels) teruggevonden (afbeelding 14). Voor de groep van vijf individuen geldt dat er ongeveer 1500 botfragmenten zijn gevonden. Een groot deel daarvan beslaan de grote botten uit de poten, maar ook van de ribben en de hoorns zijn veel stukken teruggevonden. Van de teenkoten is daarentegen bijna niets teruggevonden (afbeelding 15).



Afbeelding 14. Schematische weergave van de gevonden botten van *Triceratops* Dirk. Tekening gebaseerd op model van Scott Hartman en aangepast door Olof Moleman.



Afbeelding 15. Schematische weergave van de gevonden botten van de groep triceratopsen. Hoe hoger het percentage, hoe meer van die botten zijn gevonden. Tekening gebaseerd op model van Scott Hartman en aangepast door Pim Kaskes.

3D-printen

Botten die niet zijn gevonden, worden 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 (afbeelding 15) 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. Ook voor de kudde geldt dat de meeste botten 3D prints zijn.



Afbeelding 15. 3-D model van *Triceratops* Dirk met in bruin aangegeven welke fossielen zijn gevonden.
Door: Pasha van Bijlert.

Updates uit het veld

Kom je in de zomer naar Naturalis? Dan is de kans groot dat het dinoteam in Amerika zit om fossielen op te graven. Houd de agenda van Naturalis dan in de gaten, want mogelijk wordt er in de zaal LiveScience een live verbinding met de opgraving tot stand gebracht. Tijdens deze momenten kun je live je vragen stellen aan de opgravers.

Op andere momenten houden wij natuurlijk ook graag alle dinofans op de hoogte van onze

dinoavonturen. Matthijs Graner, bioloog en expeditielid heeft daarom tijdens de opgravingen gevlogd. Hij neemt je mee de vlaktes op, laat je zien hoe fossielen worden opgegraven en vertelt je van alles over het leven op de prairie. De vlogs zijn hier te vinden. Daarnaast maakte Matthijs *Triceratops* TV waarin verschillende experts vertellen over hun werk. Ook dook hij dieper in de wereld van *Triceratops* middels vlogs en explainers.



Een deel van het opgraafteam (2019).

Printbestanden

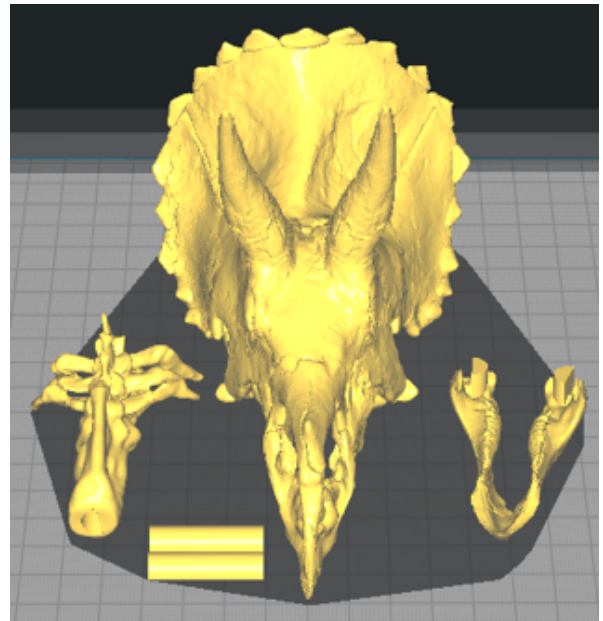
Hieronder vind je het overzicht van de zeven objecten die geprint kunnen worden. De foto's zijn hieronder vind je het overzicht van de tien prints. De foto's zijn geplaatst in de oriëntatie waarin ze het gemakkelijkst geprint worden. Bij sommige prints zijn kleine koppelstukjes inbegrepen. Deze worden gebruikt om de skeletonderdelen aan elkaar te koppelen. De printtijden zijn gebaseerd op de instellingen uit het meegeleverde Cura-profiel. De prints zijn getest op printers van Ultimaker en zijn geprint met pla filament.

Tip: op veel plekken is gerecycled pla te koop, zoals [hier](#). Probeer het restafval aan filament zoveel mogelijk te [recyclen](#).

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 zag *Triceratops* er gevaarlijk uit en kon hij T. rex mogelijk afschrikken. Aan de achterkant van de kop zit een groot nekschild. Hoewel het nekschild mogelijk een beschermende functie van de nek had, zijn er steeds meer wetenschappers die vermoeden dat het nekschild gebruikt werd om te pronken en een partner aan te trekken.

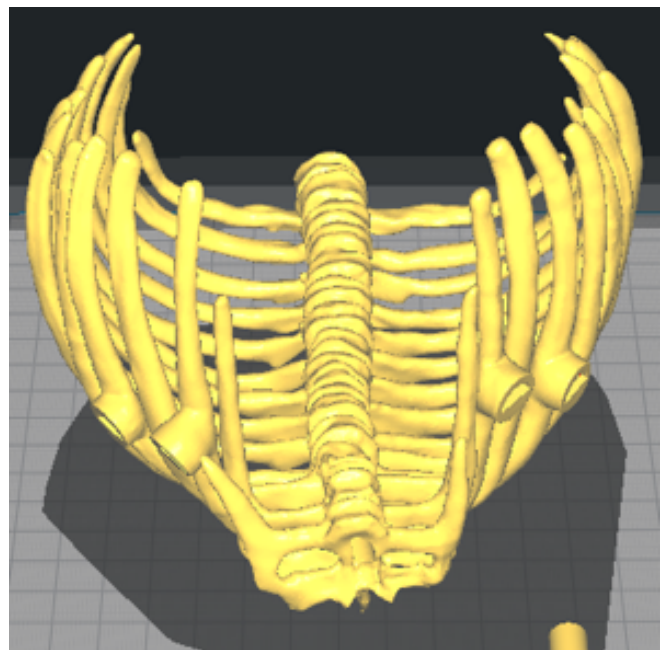


Wervels en ribben

Printtijd: +/- 33 uur

De ribbenkast bestaat uit 14 paar ribben. In totaal had *Triceratops* dus 28 borstribben die de onderliggende organen beschermden.

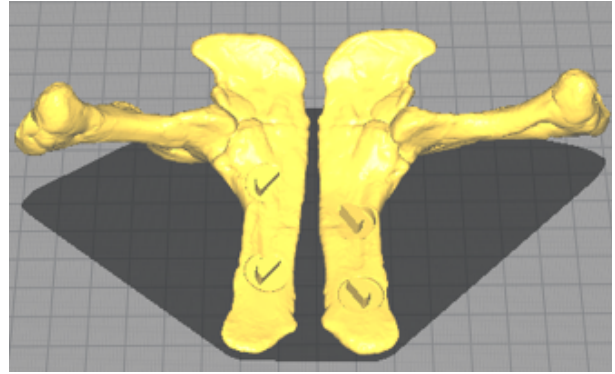
*omdat dit een grote, ingewikkelde print betreft, is de printtijd relatief lang.



Schouderbladen en opperarmbenen

Printtijd: +/- 6 uur

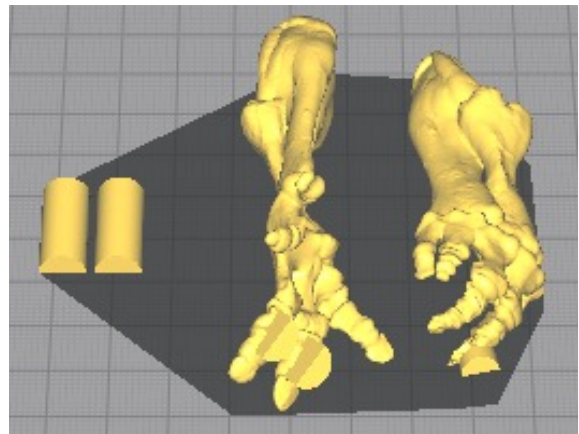
De voorpoten van *Triceratops* zijn stevig gebouwd, ze moeten namelijk het slotte het grote gewicht van onder andere de schedel dragen. Elke poot heeft twee onderarmbotten en één bovenarmbot. De schouderbladen zijn heel langgerekt en lopen langs het lichaam. Aan de voorkant lopen de schouderbladen door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



Voorpoten

Printtijd: +/- 4 uur

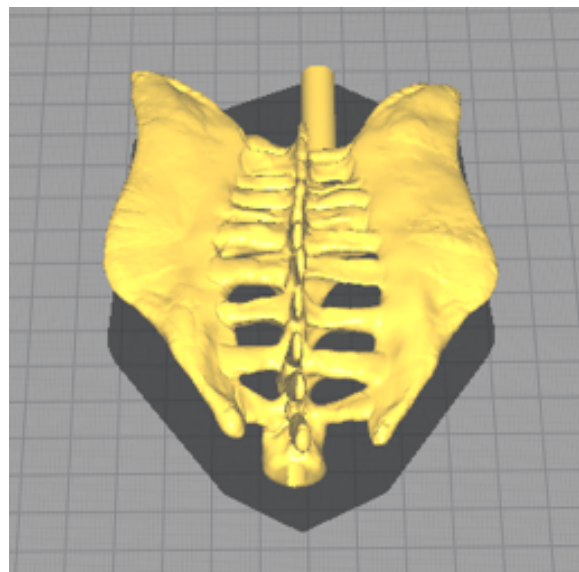
De voorpoten van *Triceratops* waren robuust gebouwd. Elke poot heeft vijf vingers. Daarmee is het bouwplan van de poten nagenoeg gelijk aan dat van de mens. De stevige botten zorgden ervoor dat het gewicht van de zware kop met hoorns en nekschild goed gedragen kon worden.



Darmbeen en heiligbeen

Printtijd: +/- 6 uur

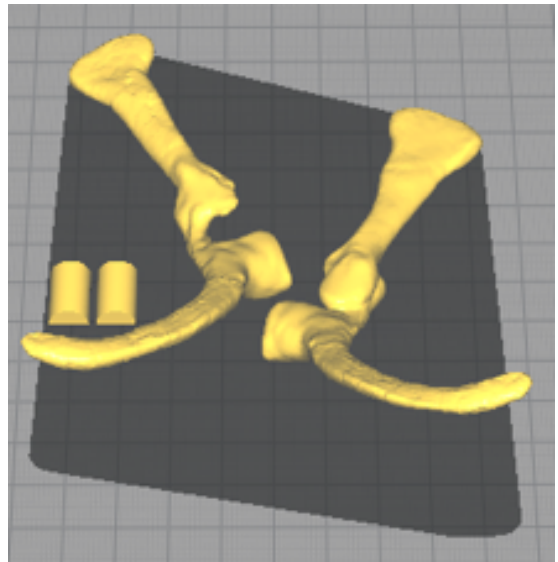
De heupen van *Triceratops* waren enorm groot. Het bouwplan is nagenoeg gelijk aan de heupen van de mens, alleen zitten de botten anders georiënteerd in het lichaam. Het bestaat uit grofweg drie delen: het darmbeen, het schaambeen en het zitbeen. Deze print betreft het darmbeen. Het darmbeen zit links 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 *Triceratops* is dat niet het geval.



Schaambeen en zitbeen

Printtijd: +/- 4 uur

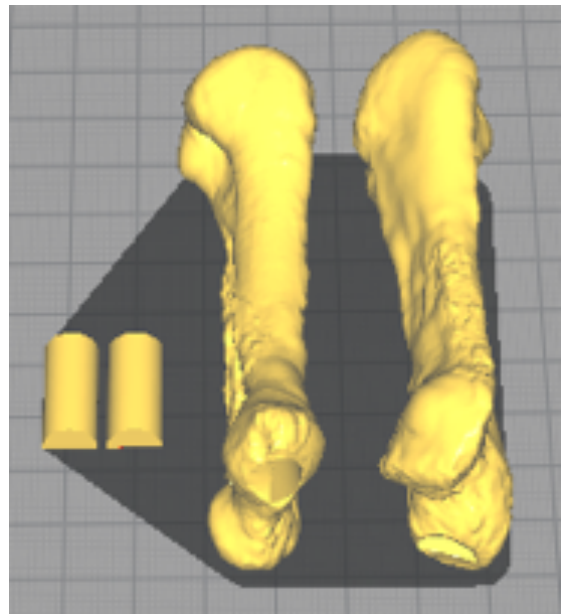
Het schaambeen en het zitbeen maken net als het darmbeen onderdeel uit van de heupen. Het schaambeen zit bij de mens aan de voorkant, maar steekt bij *Triceratops* schuin naar beneden en naar voren. Het zitbeen steekt naar achter en zit onder de staart. Het bood mogelijk bescherming van het achterwerk 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

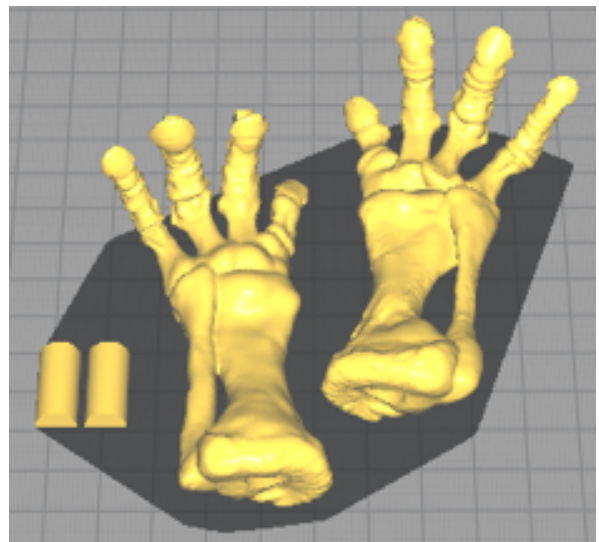
De dijbenen zijn relatief lang en slank in vergelijking met de opperarmbenen. De rug van het dier stak doorgaans dan ook boven de kop uit.



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.



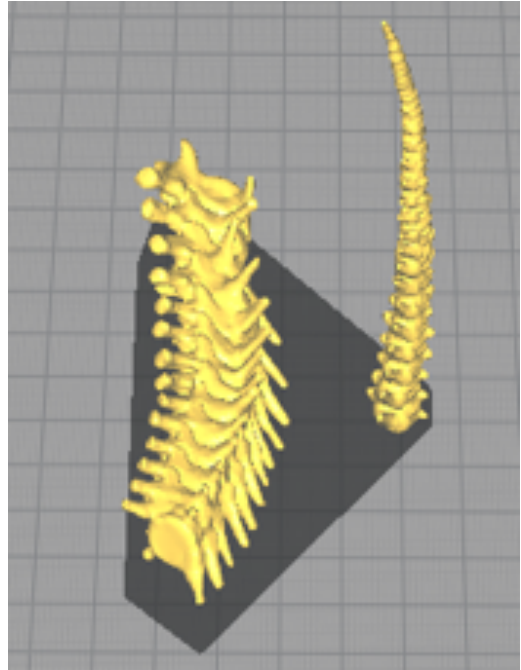
Armen en schouderbladen

Printtijd: +/- 1 uur

Staart

Printtijd: +/- 3 uur

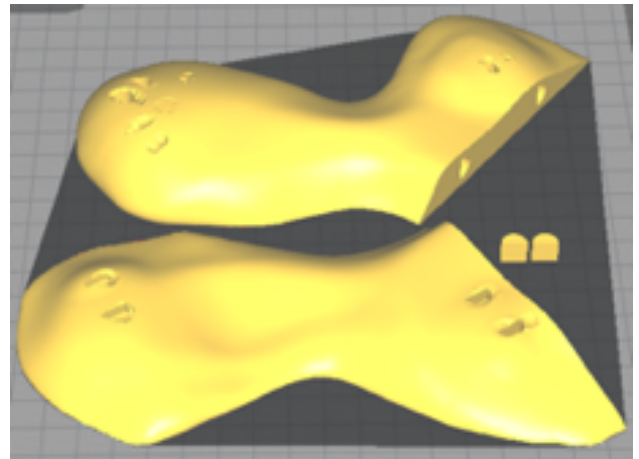
De staart van een *Triceratops* is vrij lang en bood tegenwicht aan de zware kop. Zo bleef het dier in balans. Het is niet bekend uit hoeveel botten de staart bestaat, aangezien er nog nooit een complete staart gevonden is. Niet heel gek, want van het hele skelet zitten de kleinste botjes in de staart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



Basis

Printtijd: +/- 2 uur

Dit is de basis waarop het skelet neergezet kan worden.



Het skelet in elkaar zetten

Lijst van onderdelen

Basis

Ribbenkast

Schouderbladen 1

Schouderbladen 2

Voorpoten 1

Voorpoten 2

Kop 1

Kop 2

Kop 3

Kop 4

Heupen

Staart 1

Staart 2

Dijbenen 1

Dijbenen 2

Dijbenen 3

Schaambeen 1

Schaambeen 2

Achterpoten 1

Achterpoten 2

Bovenlijf

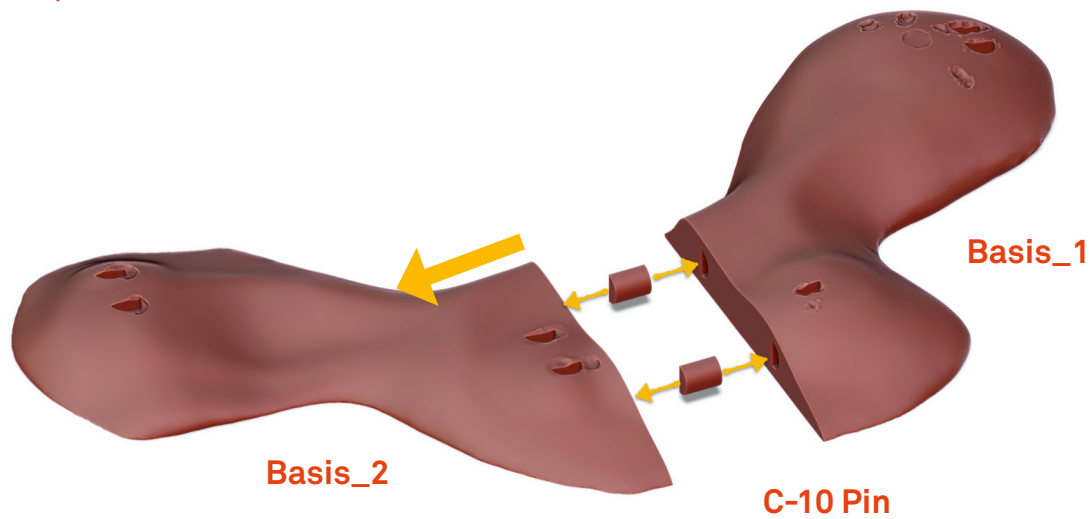
Bovenlijf en onderlijf verbinding

Verbinding met de basis

Dirk skelet

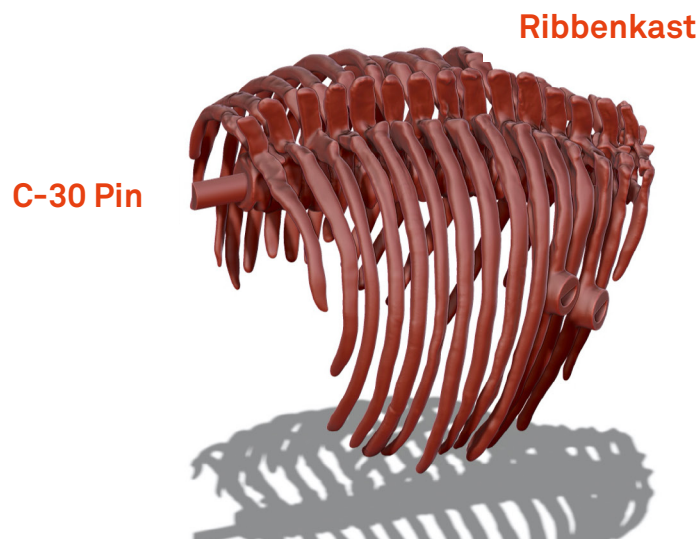
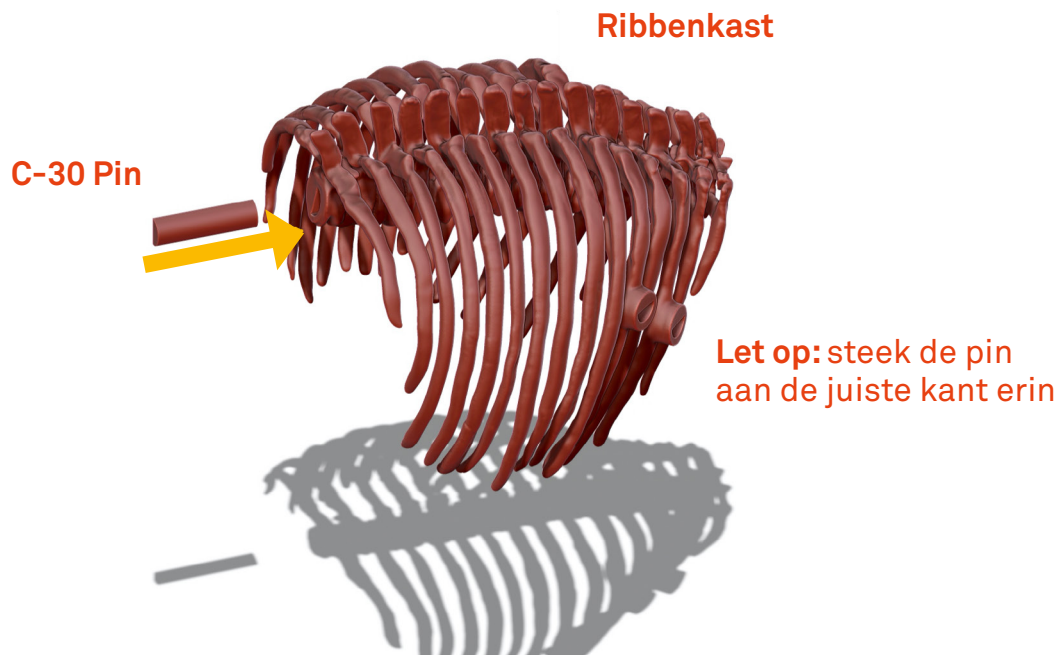
Basis

Bevestig **Basis_1** en **Basis_2** aan elkaar met C-10 pinnen



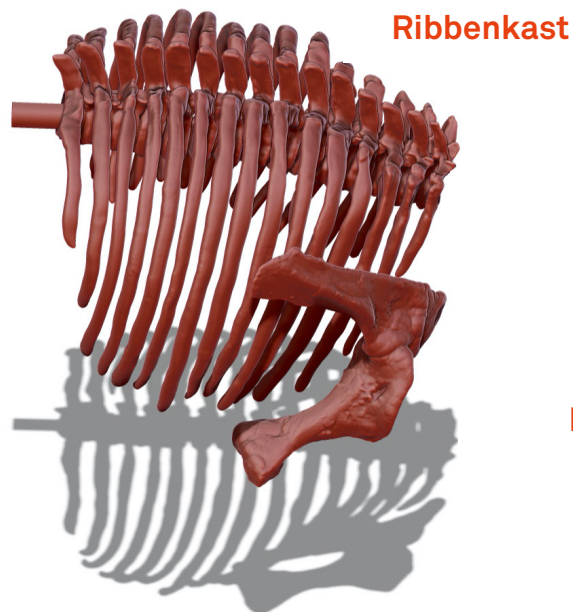
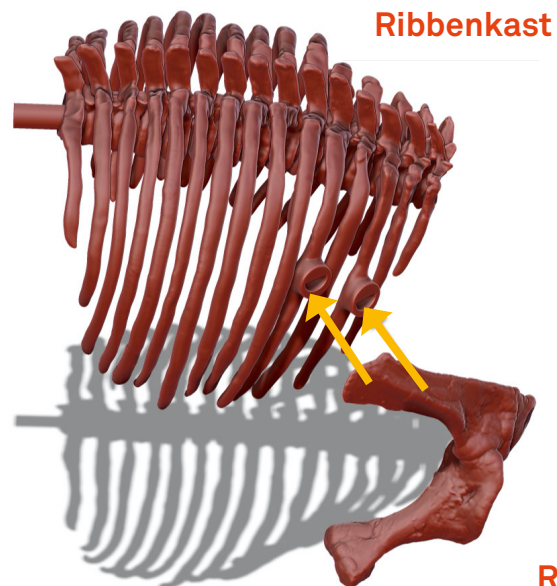
Ribbenkast

Steek de C-30 pin
in de Ribbenkast



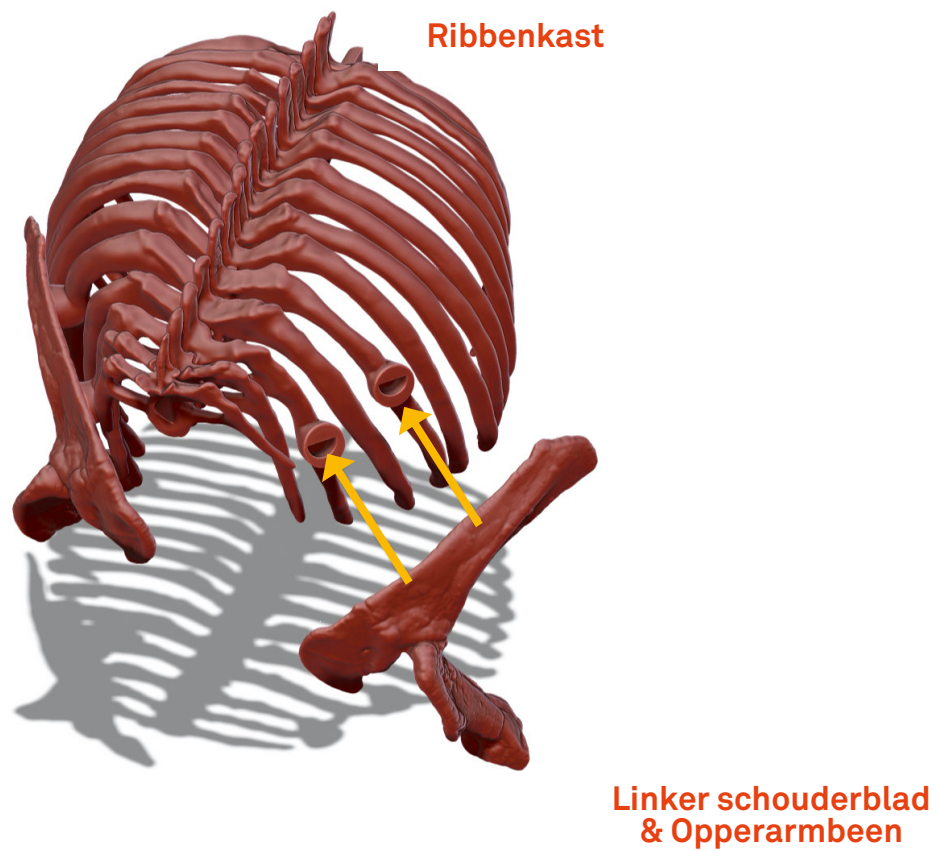
Schouderbladen 1

Bevestig het **Rechter schouderblad**
& **Opperarmbeen** aan de **Ribbenkast**



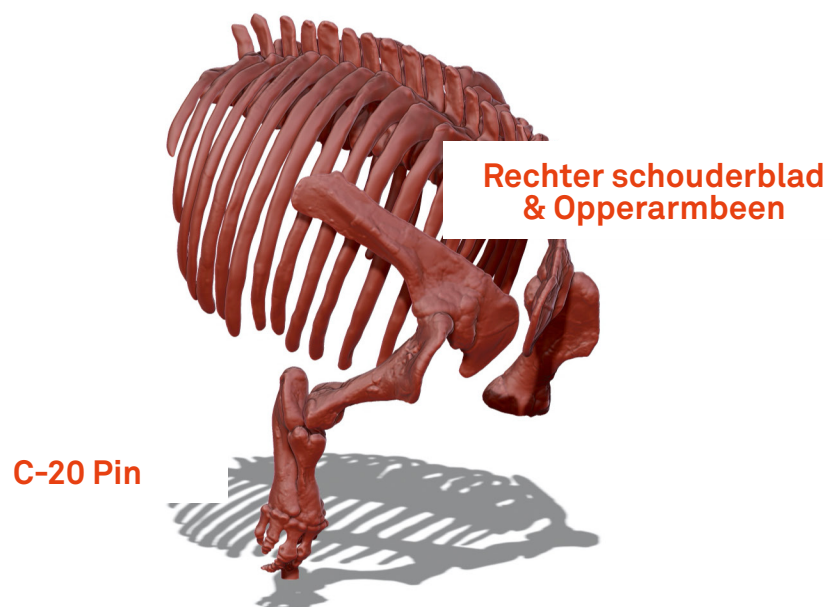
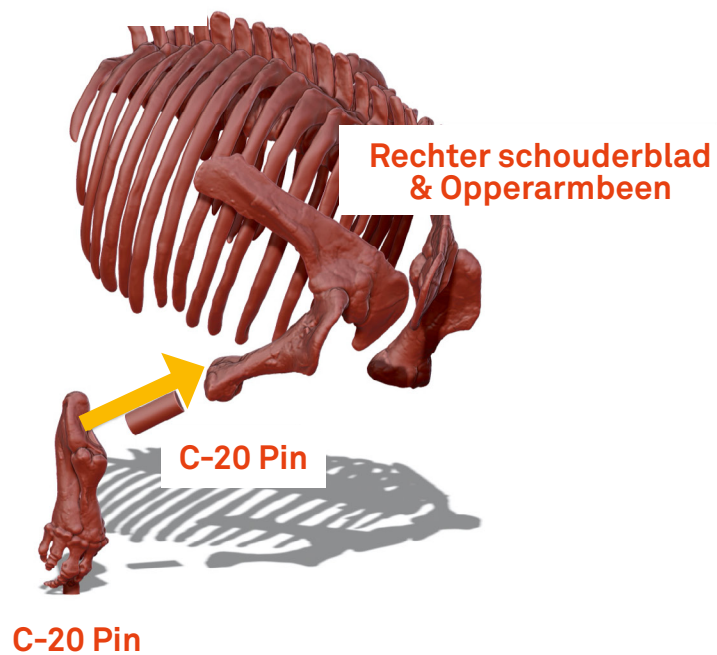
Schouderbladen 2

Bevestig het **Linker schouderblad**
& **Opperarmbeen** aan de **Ribbenkast**



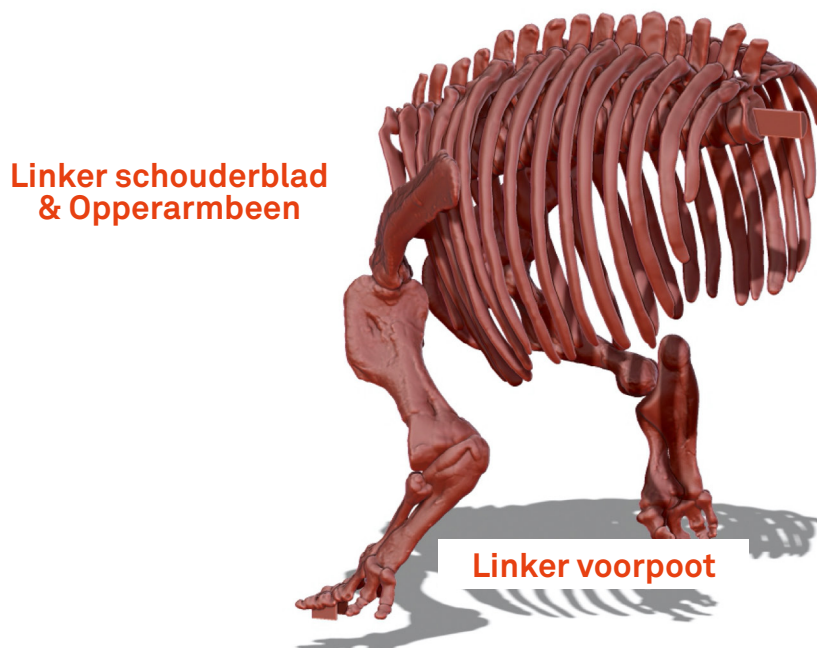
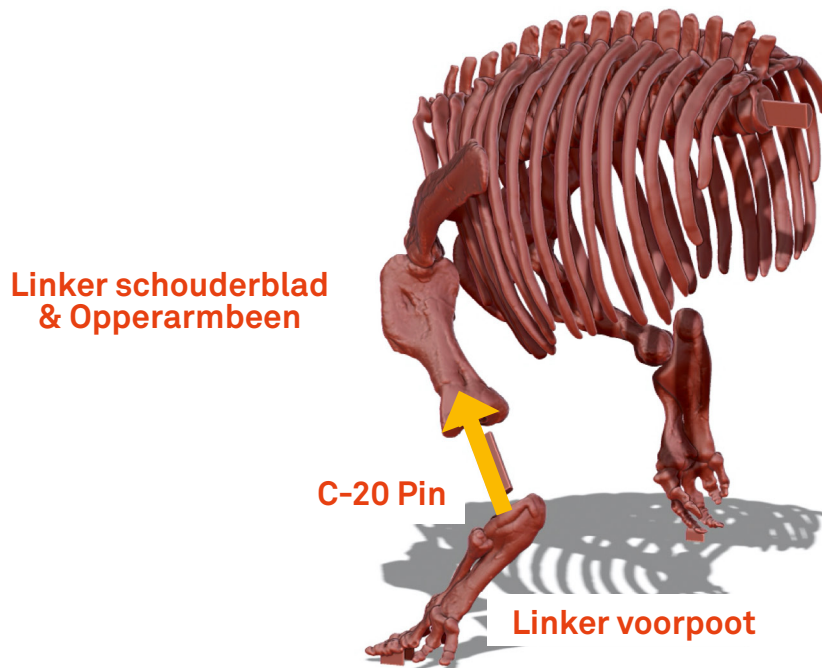
Voorpoten 1

Bevestig de **Rechter voorpoot** aan het **Rechter schouderblad & Opperarmbeen** met een **C-20 pin**



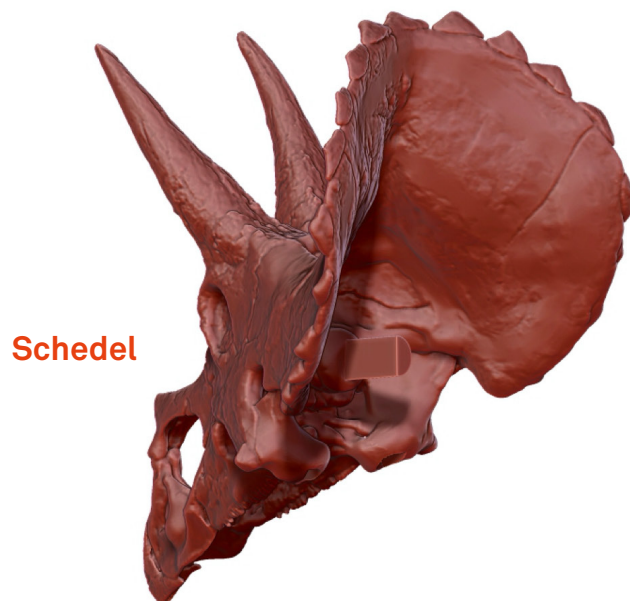
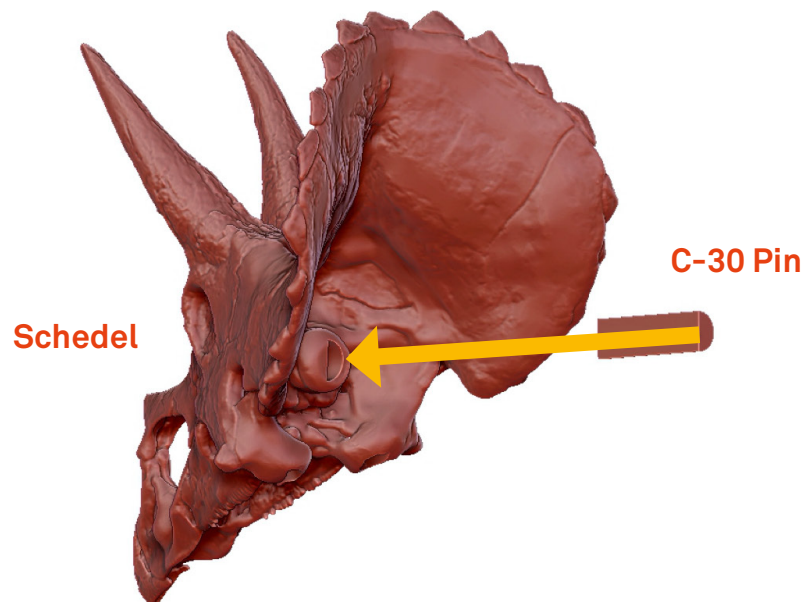
Voorpoten 2

Bevestig de **Linker voorpoot** aan het **Linker schouderblad & Opperarmbeen** met een **C-20 pin**



Kop 1

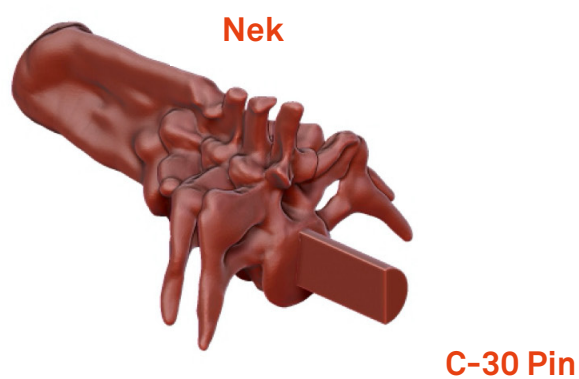
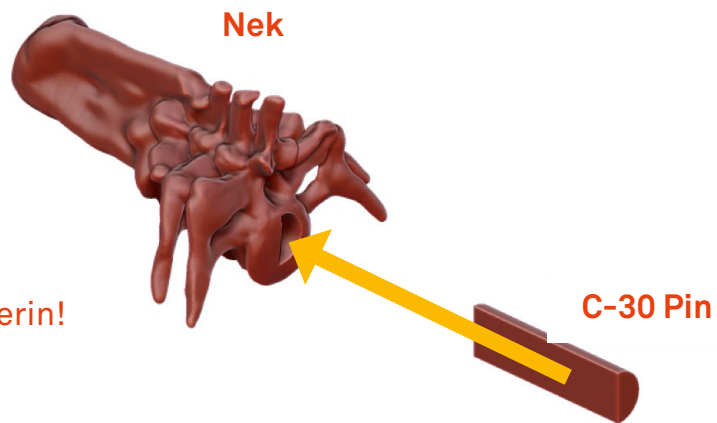
Steek de **C-30 pin**
in de **schedel**



Kop 2

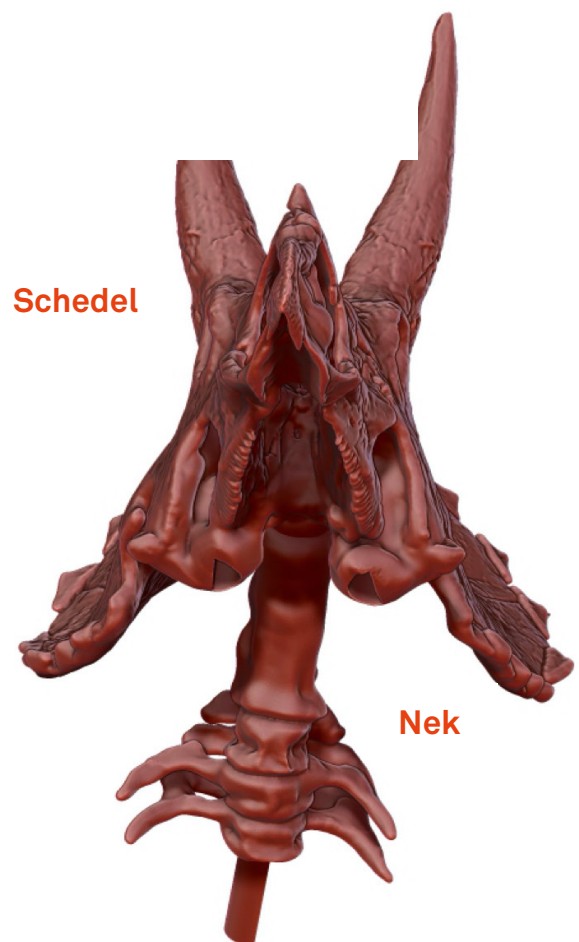
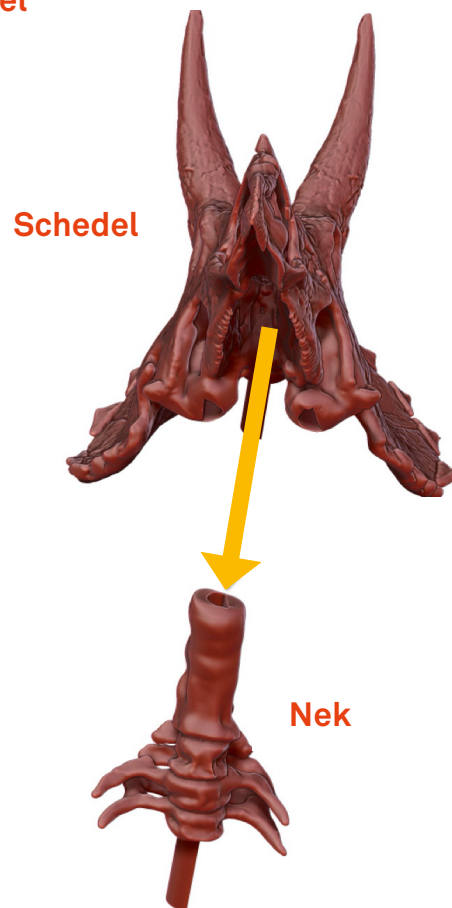
Steek de **C-30 pin**
in de **nek**

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



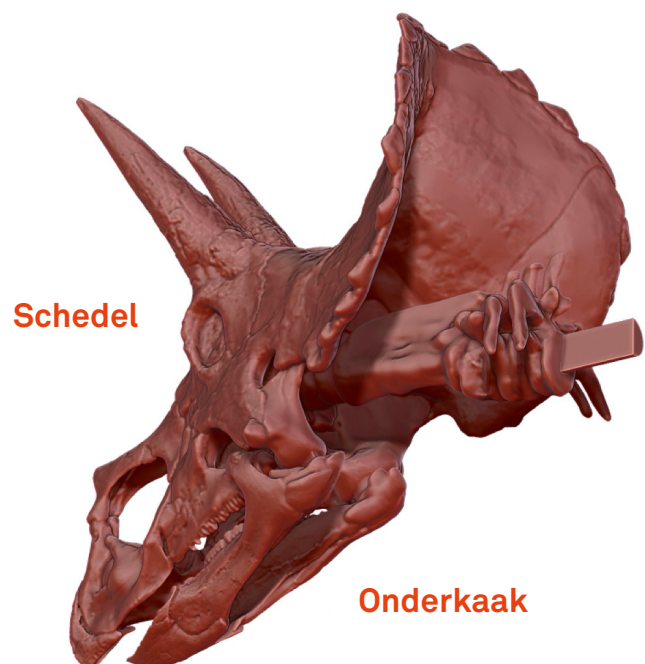
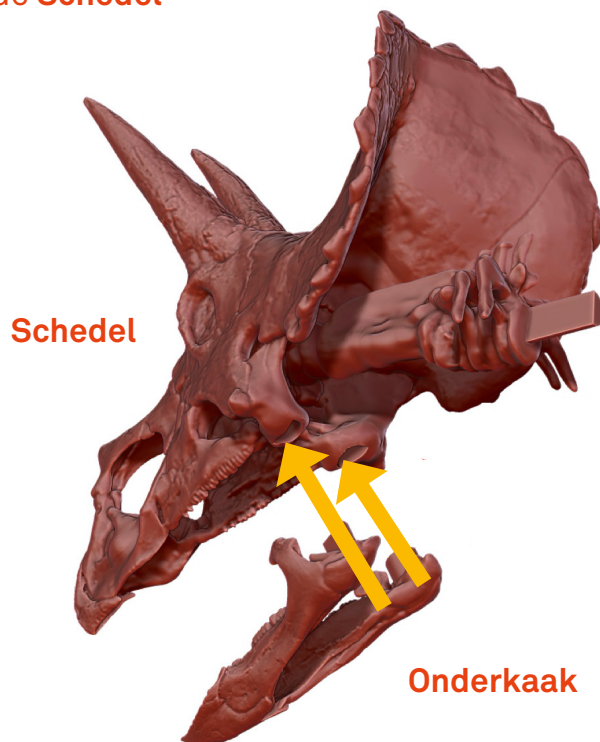
Kop 3

Bevestig de **Schedel**
aan de **Nek**



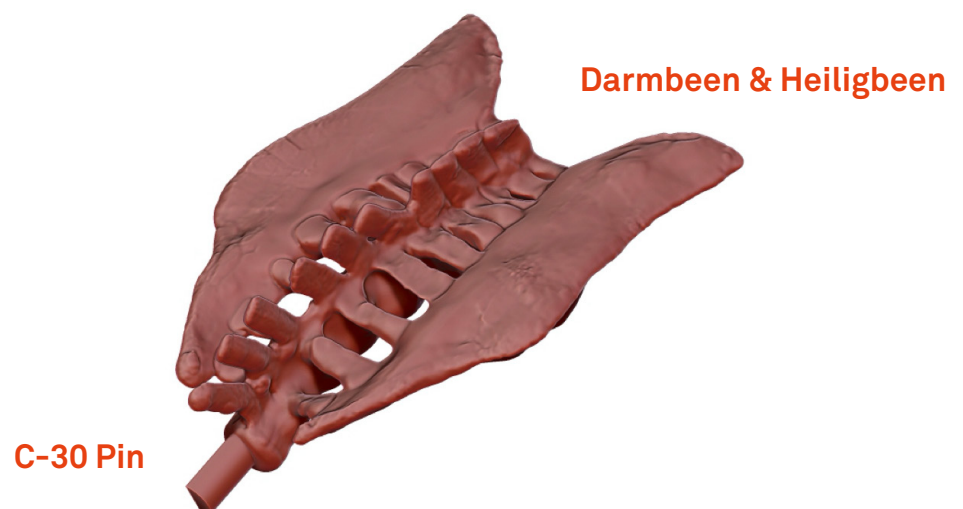
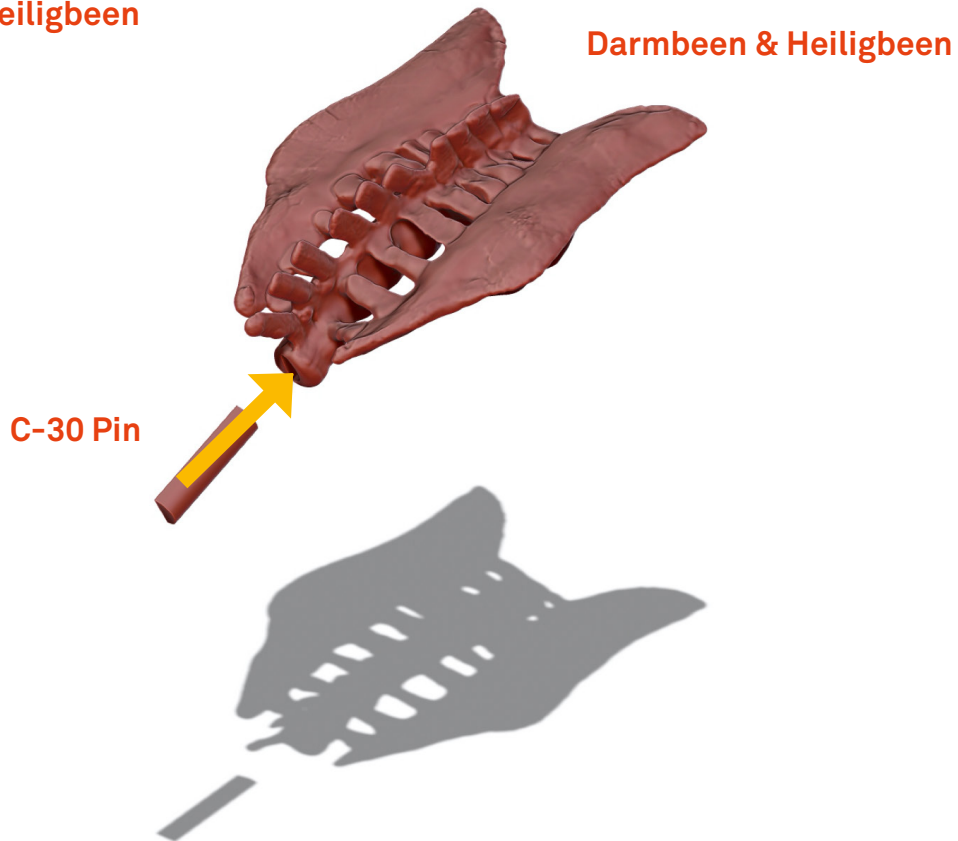
Kop 4

Bevestig de **Onderkaak**
aan de **Schedel**



Heupen

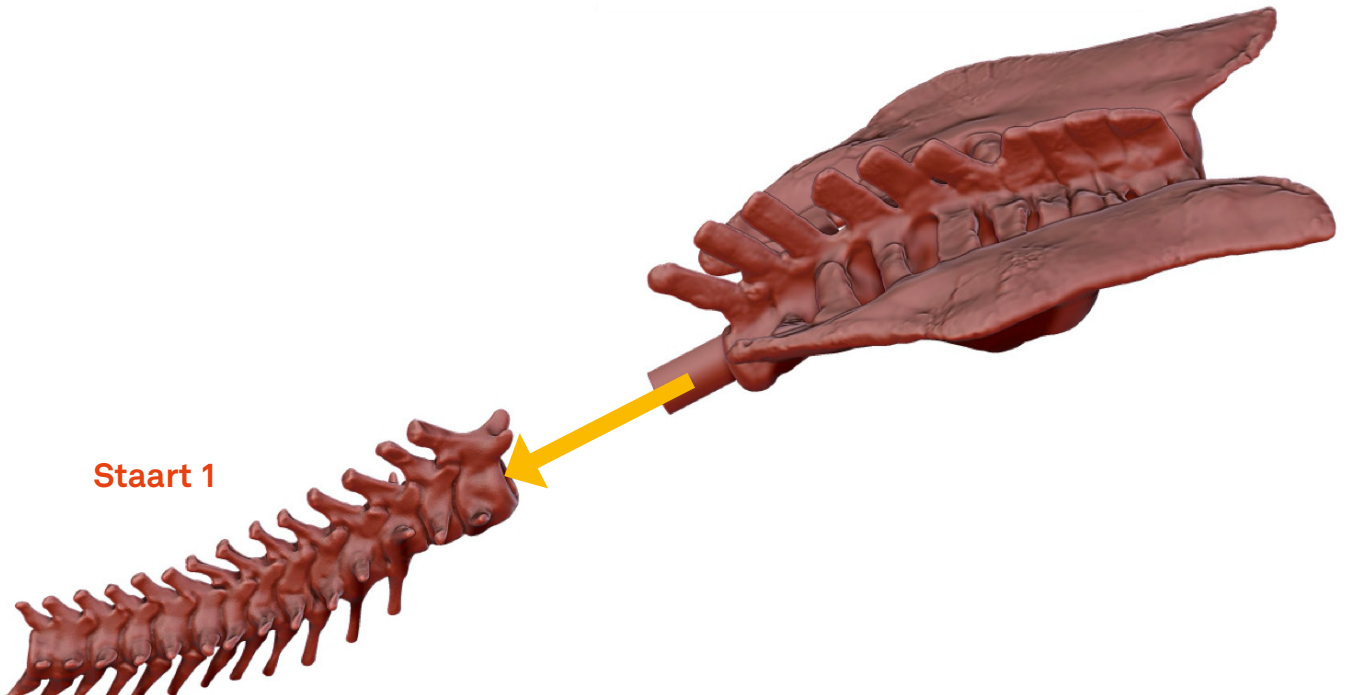
Steek de C-30 pin
in het Heiligbeen



Staart 1

Bevestig **Staart 1**
aan het **Heiligbeen**

Darmbeen & Heiligbeen

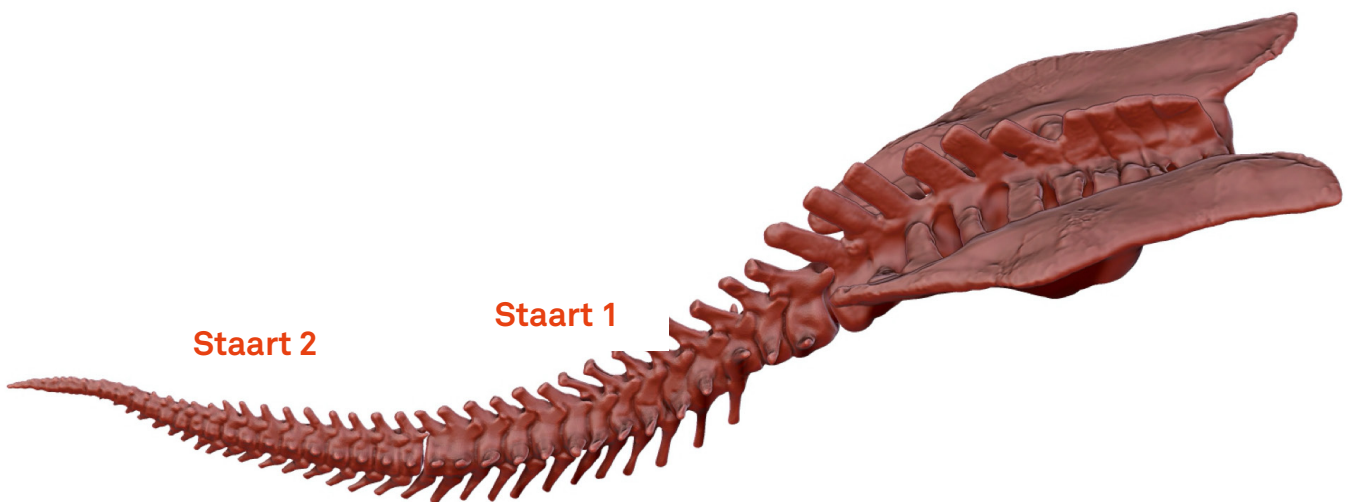
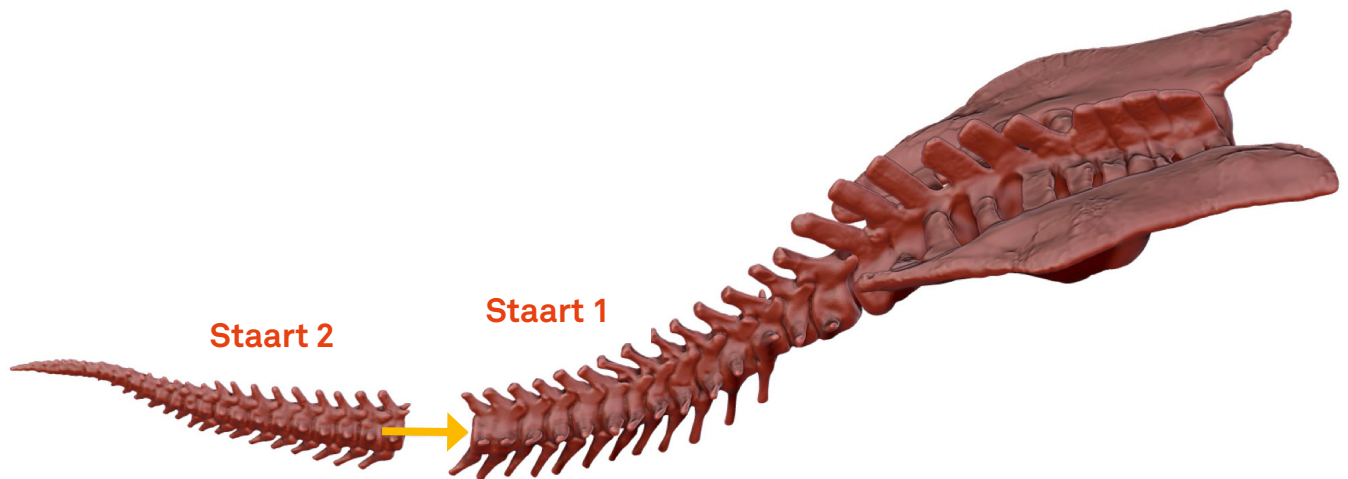


Darmbeen & Heiligbeen



Staart 2

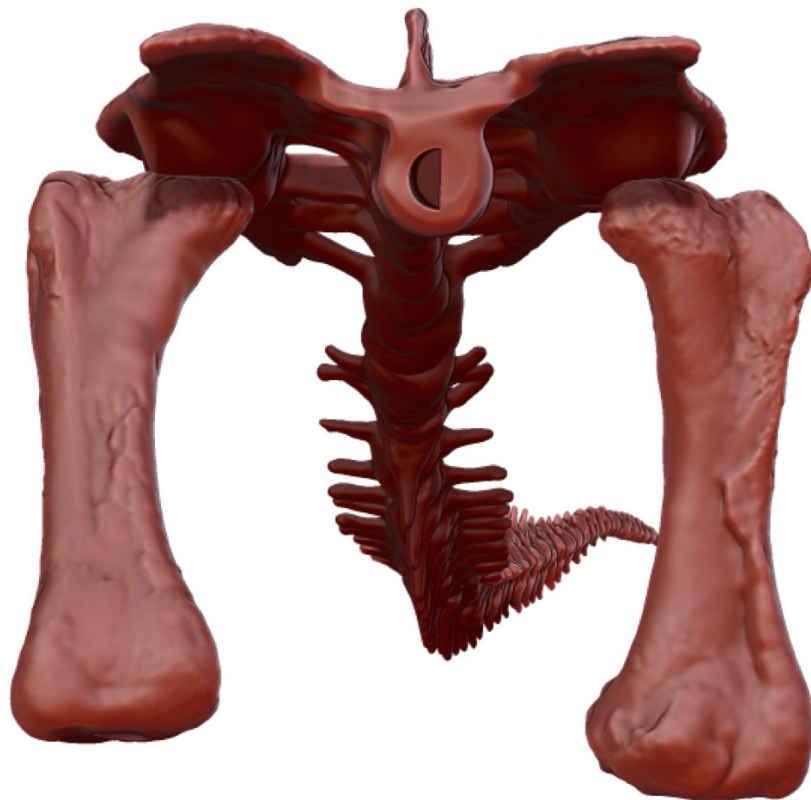
Bevestig **Staart 1**
aan **Staart 2** met lijm



Dijbenen 1

Let voor de bevestiging op de juiste positie van de **Dijbenen**

Darmbeen & Heiligbeen



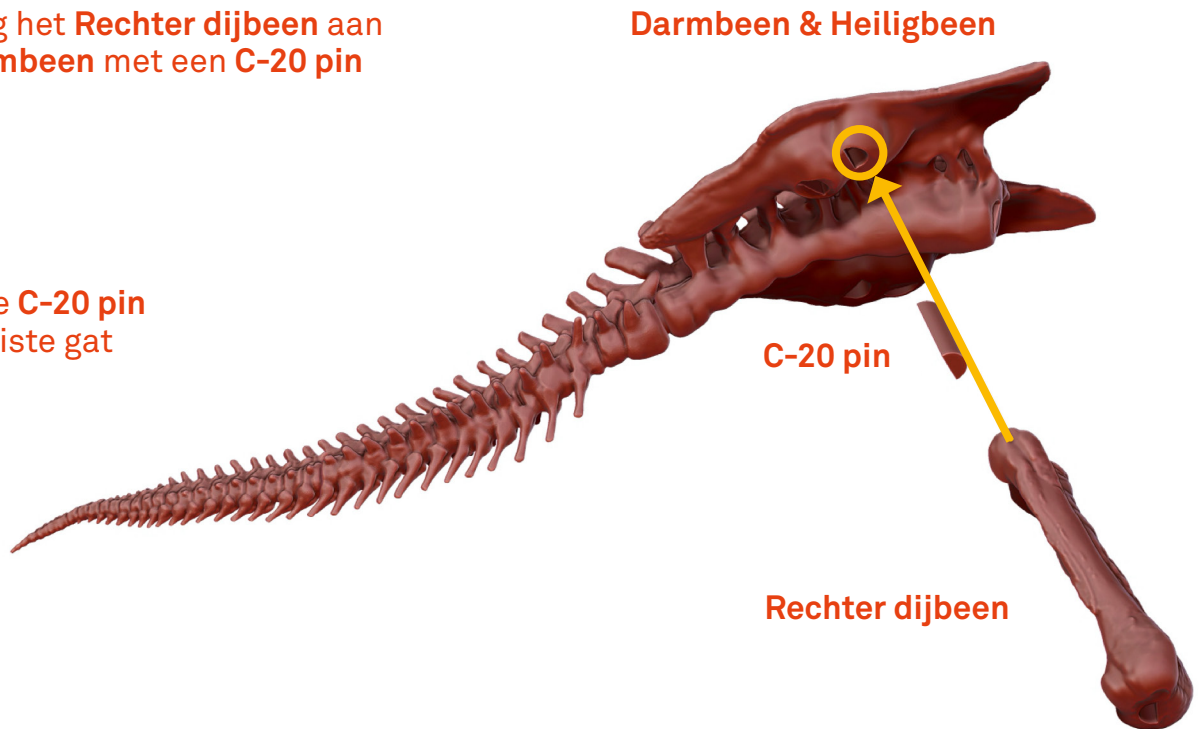
Rechter dijbeen

Linker dijbeen

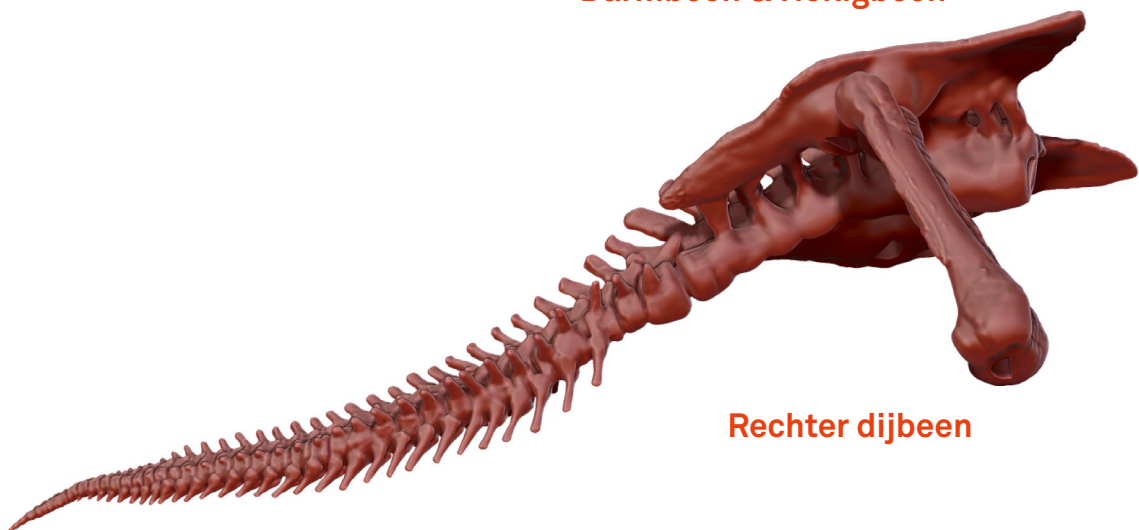
Dijbenen 2

Bevestig het **Rechter dijbeen** aan het **Darmbeen** met een **C-20 pin**

Let op!
Steek de **C-20 pin** in het juiste gat



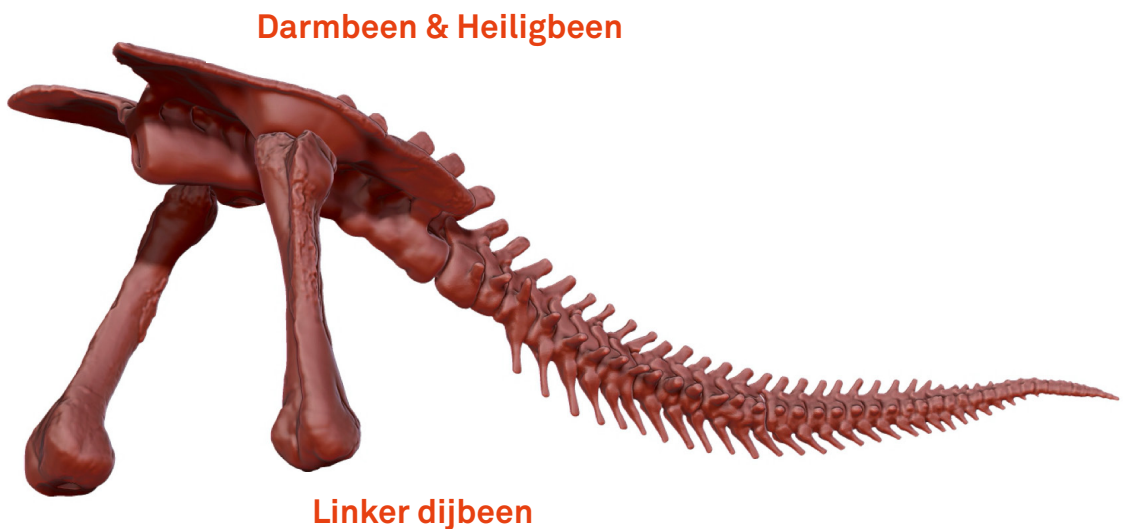
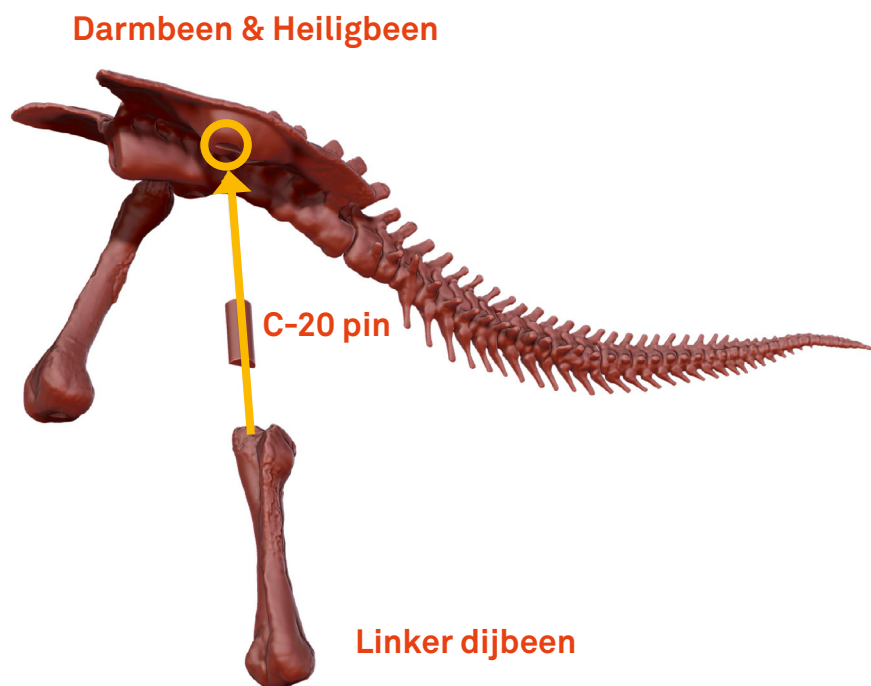
Darmbeen & Heiligbeen



Dijbenen 3

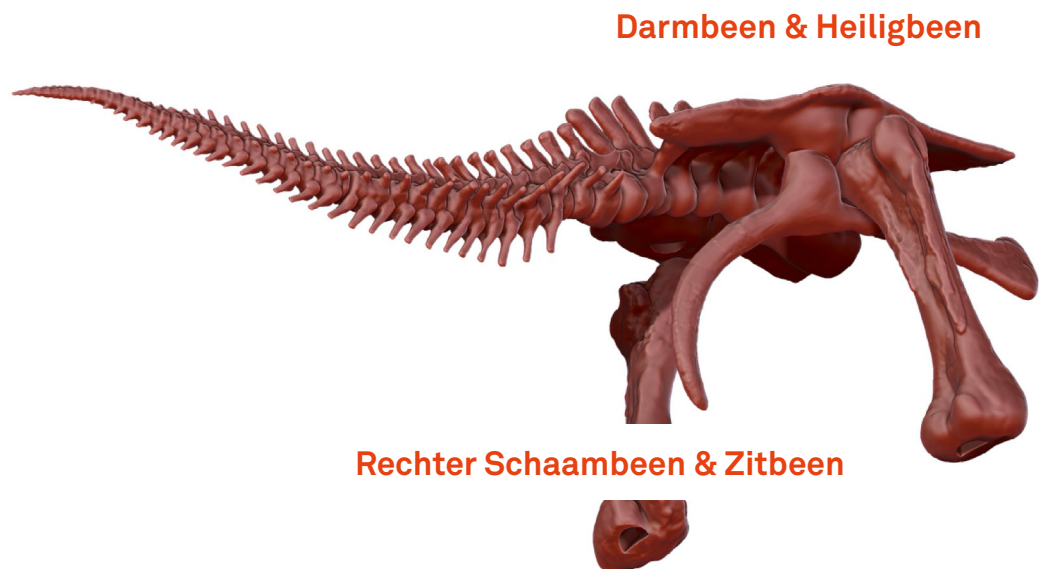
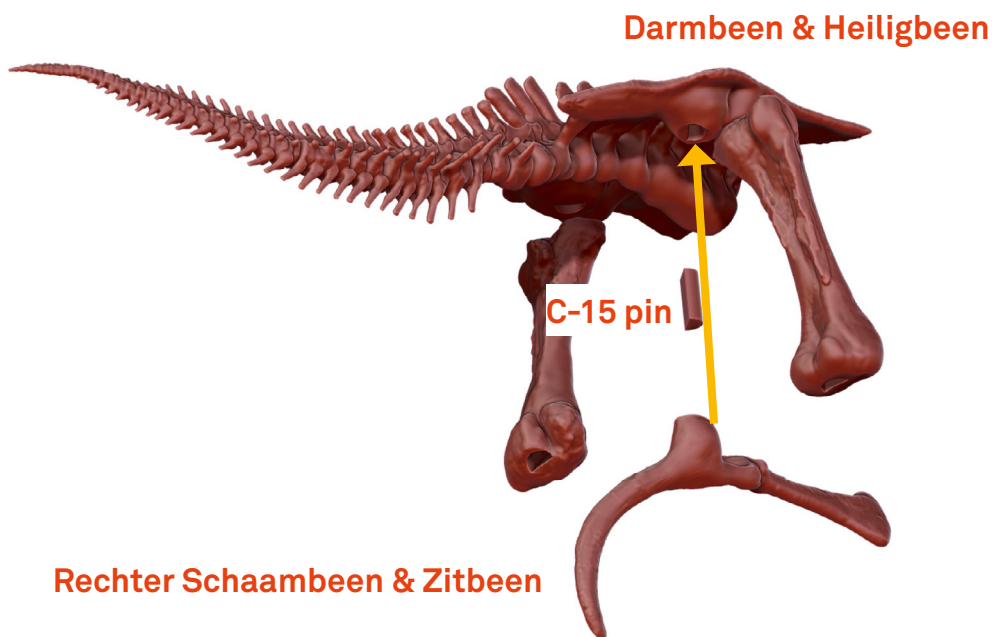
Bevestig het **Linker dijbeen** aan het **Darmbeen** met een **C-20 pin**

Let op!
Steek de **C-20 pin**
in het juiste gat



Schaambeen 1

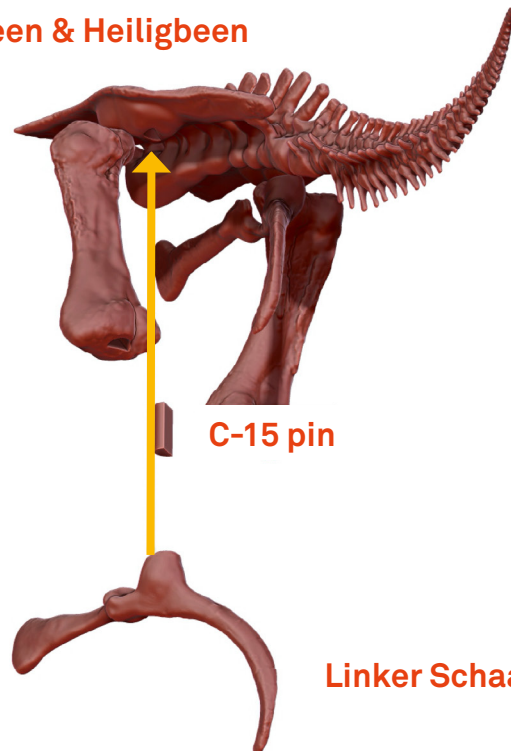
Bevestig het **Rechter Schaambeen & Zitbeen**
aan het **Darmbeen** met een **C-15 pin**



Schaambeen 2

Bevestig het **Linker Schaambeen & Zitbeen**
aan het **Darmbeen** met een **C-15 pin**

Darmbeen & Heiligbeen

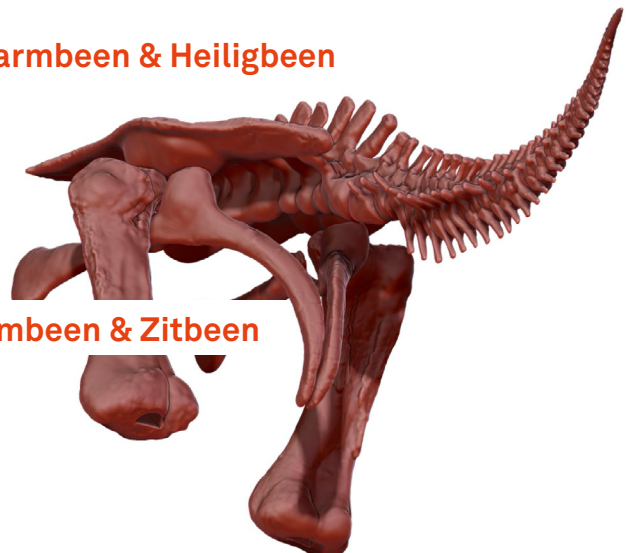


C-15 pin

Linker Schaambeen & Zitbeen

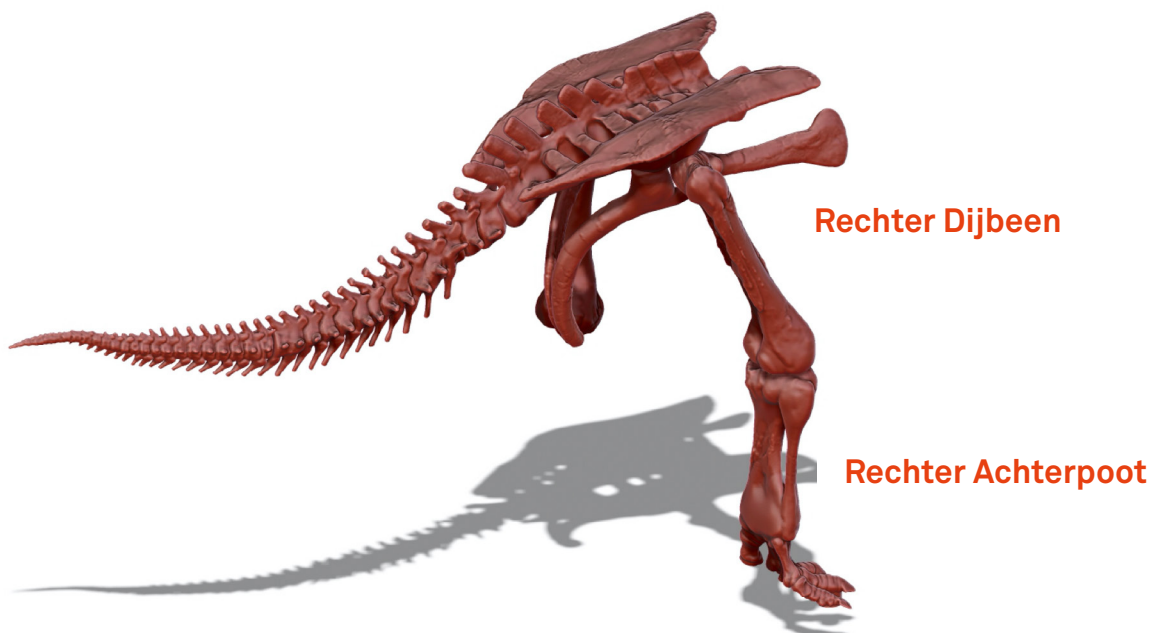
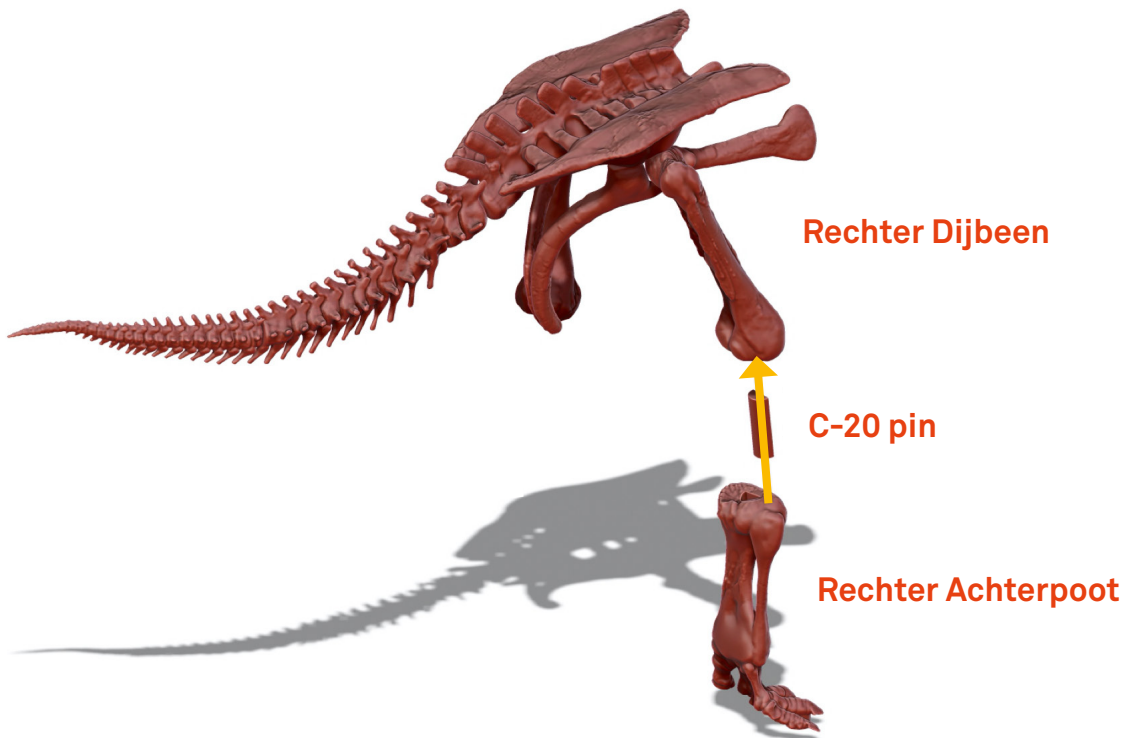
Darmbeen & Heiligbeen

Linker Schaambeen & Zitbeen



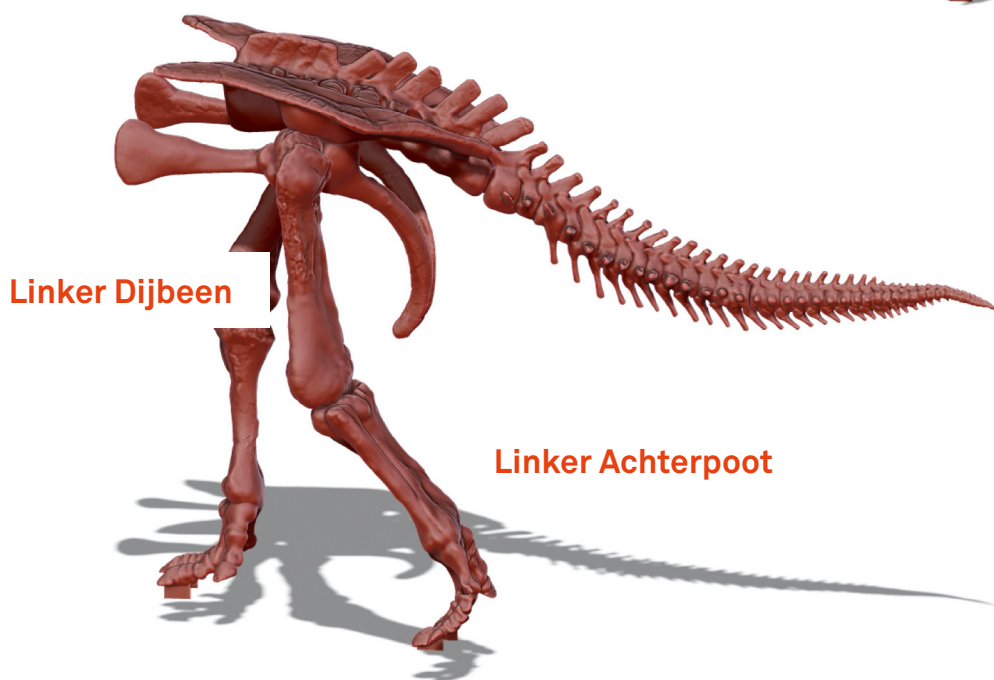
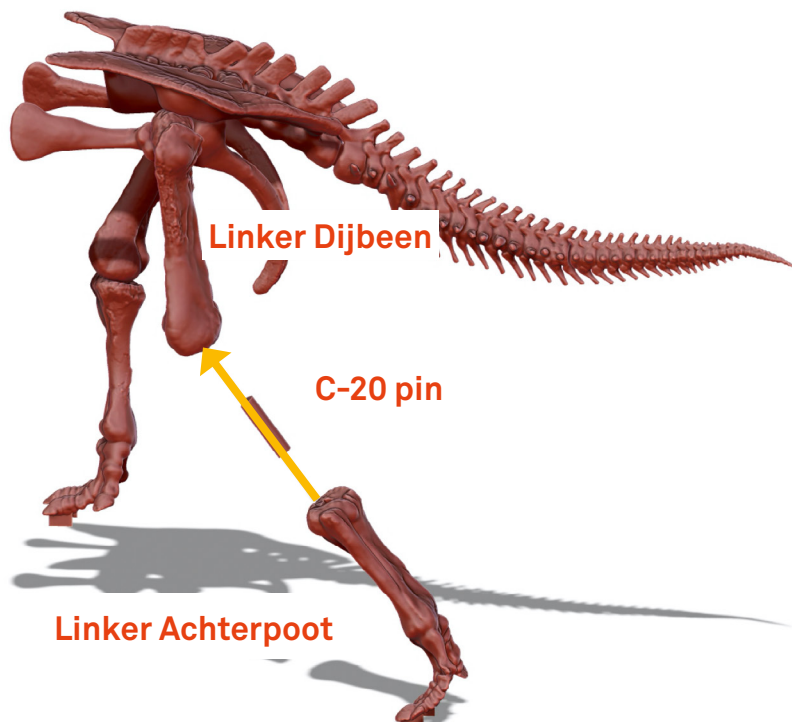
Achterpoten 1

Bevestig de **Rechter Achterpoot** aan het **Rechter Dijbeen** met een **C-20 pin**



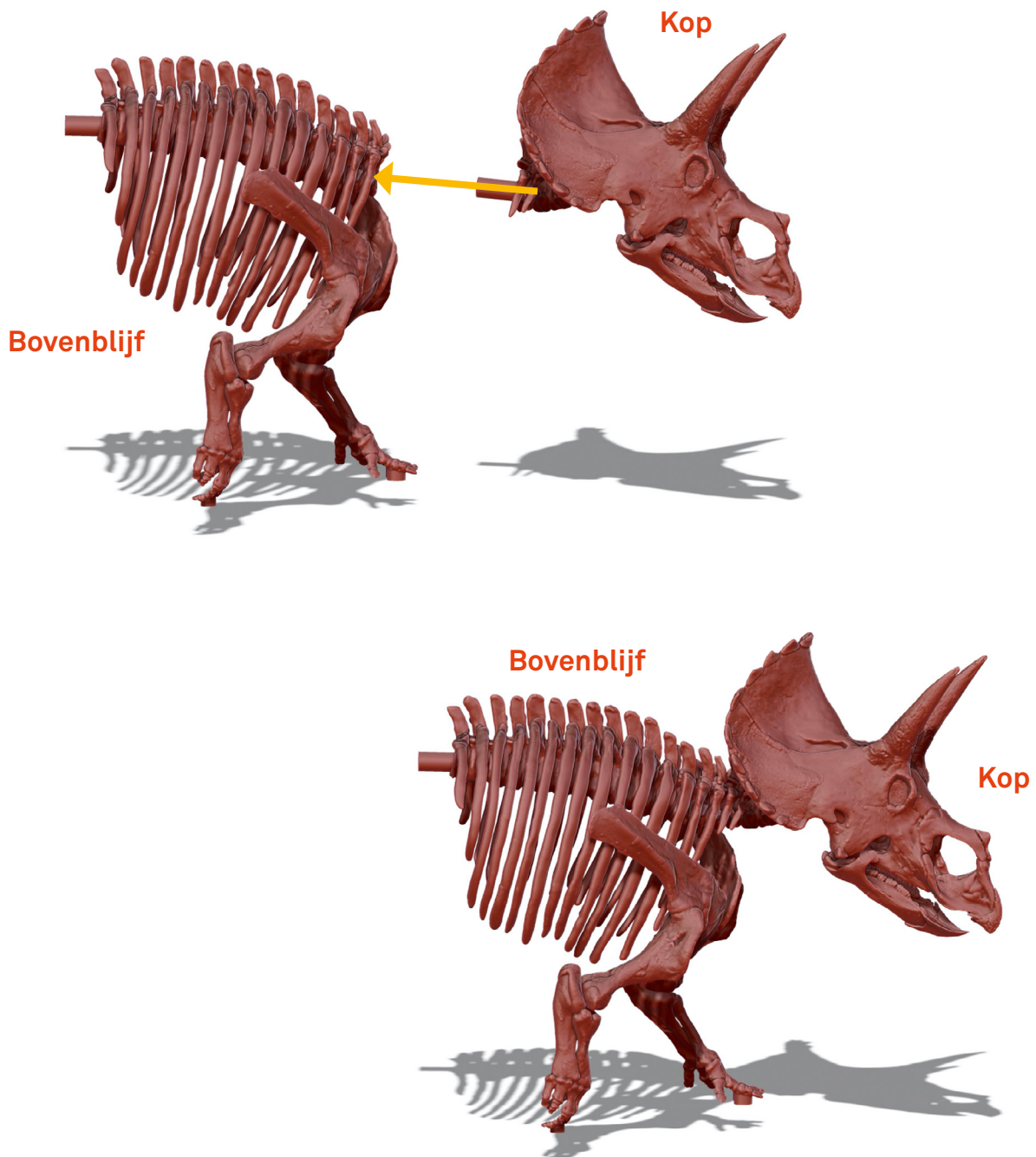
Achterpoten 2

Bevestig de **Linker Achterpoot** aan het **Linker Dijbeen** met een **C-20 pin**



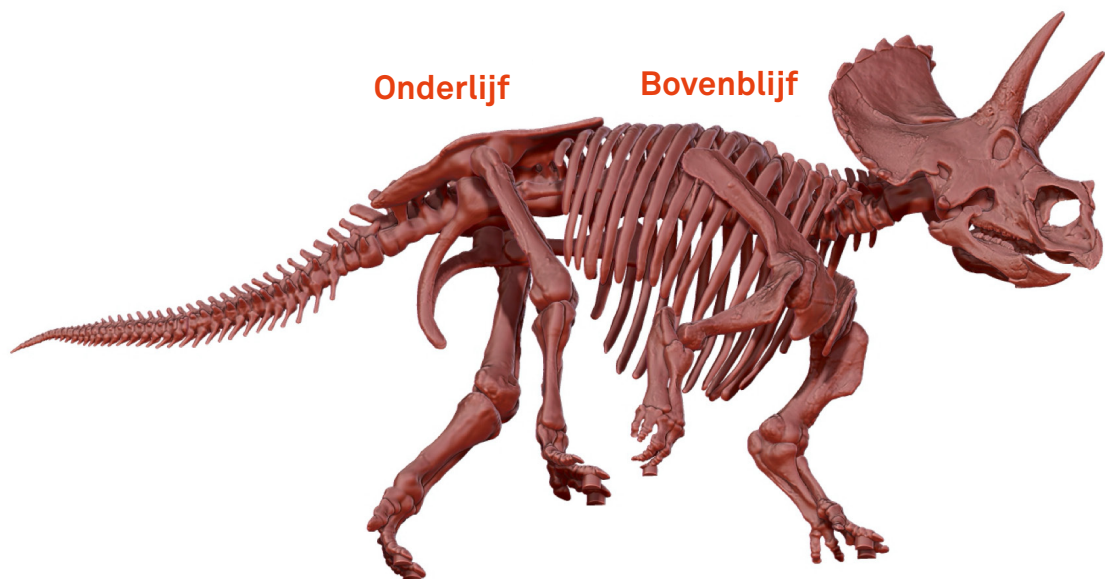
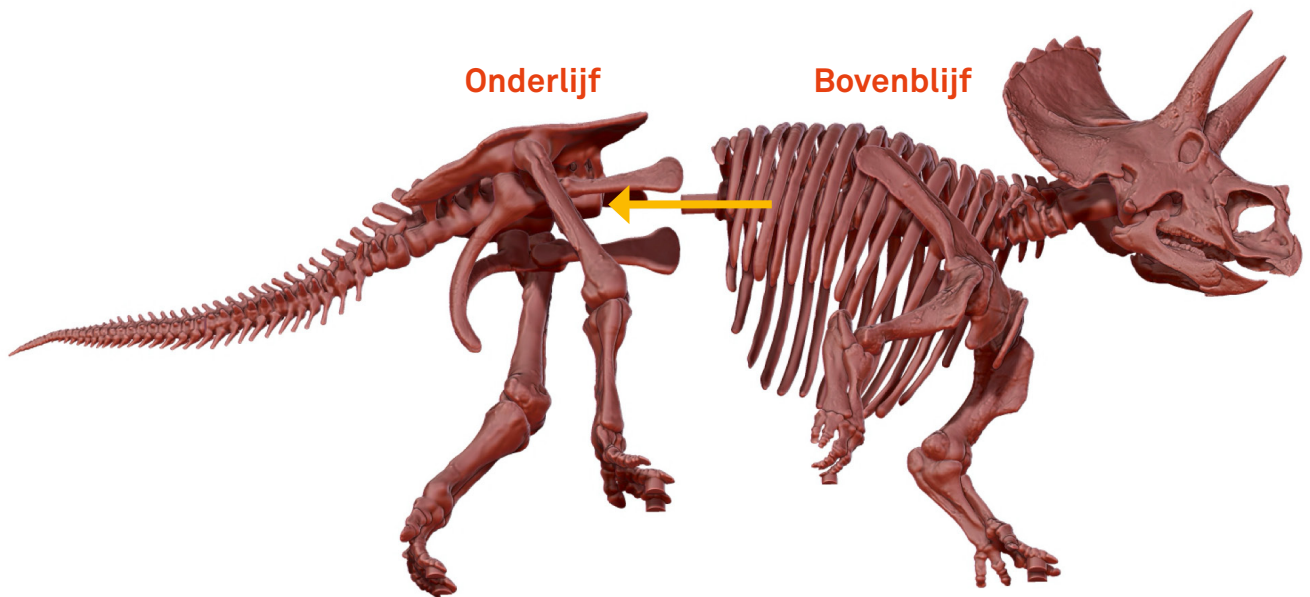
Bovenlijf

Bevestig de **Kop** aan het **Bovenlijf**



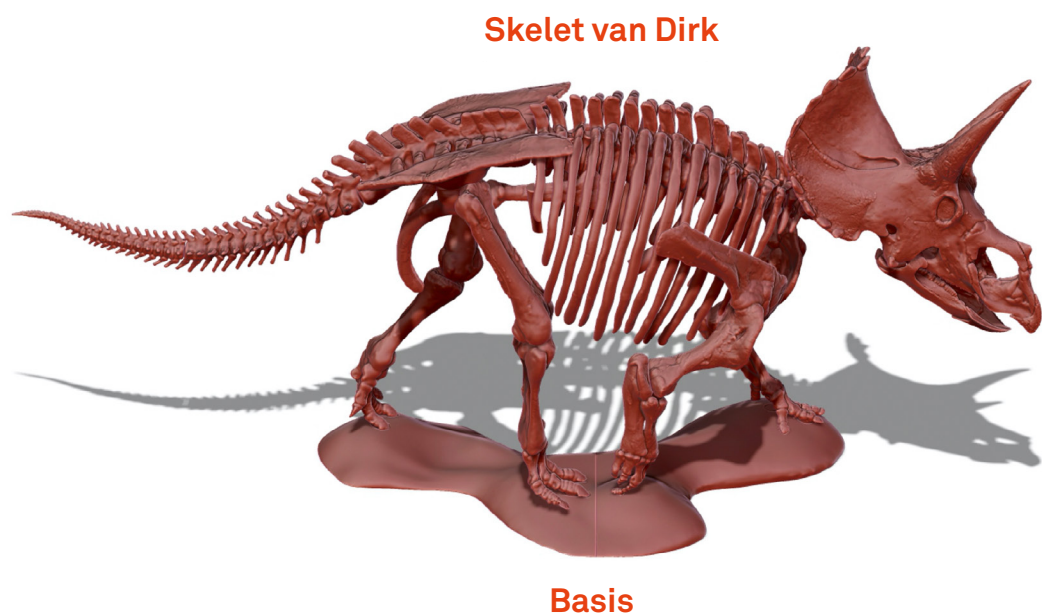
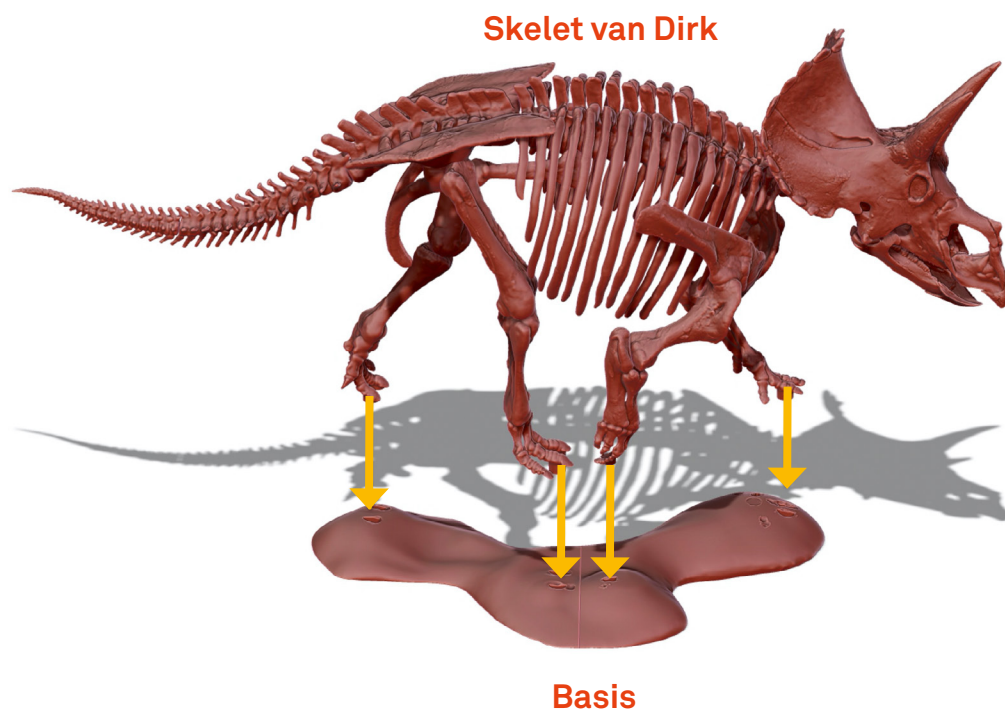
Bovenlijf en onderlijf verbinding

Bevestig het **Bovenlijf** aan het **Onderlijf**



Verbinding met de basis

Zet het **Skelet van Dirk** vast op de **Basis**



Het complete skelet van Dirk



Bronmateriaal

Benodigdheden printen

Printmateriaal + profiel met voorkeursinstellingen*

Filmpjes

Een flits uit de geschiedenis van *Triceratops*.

Het leven op de prairie.

Neusbot van *Triceratops*.

Het ingipsen van fossielen voor transport.

Wat is het dinolab?

Extra beeldmateriaal

Vlogs *Triceratops* opgraving

Triceratops TV (alle films)

Artikelen

Natuurwijzer (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.