

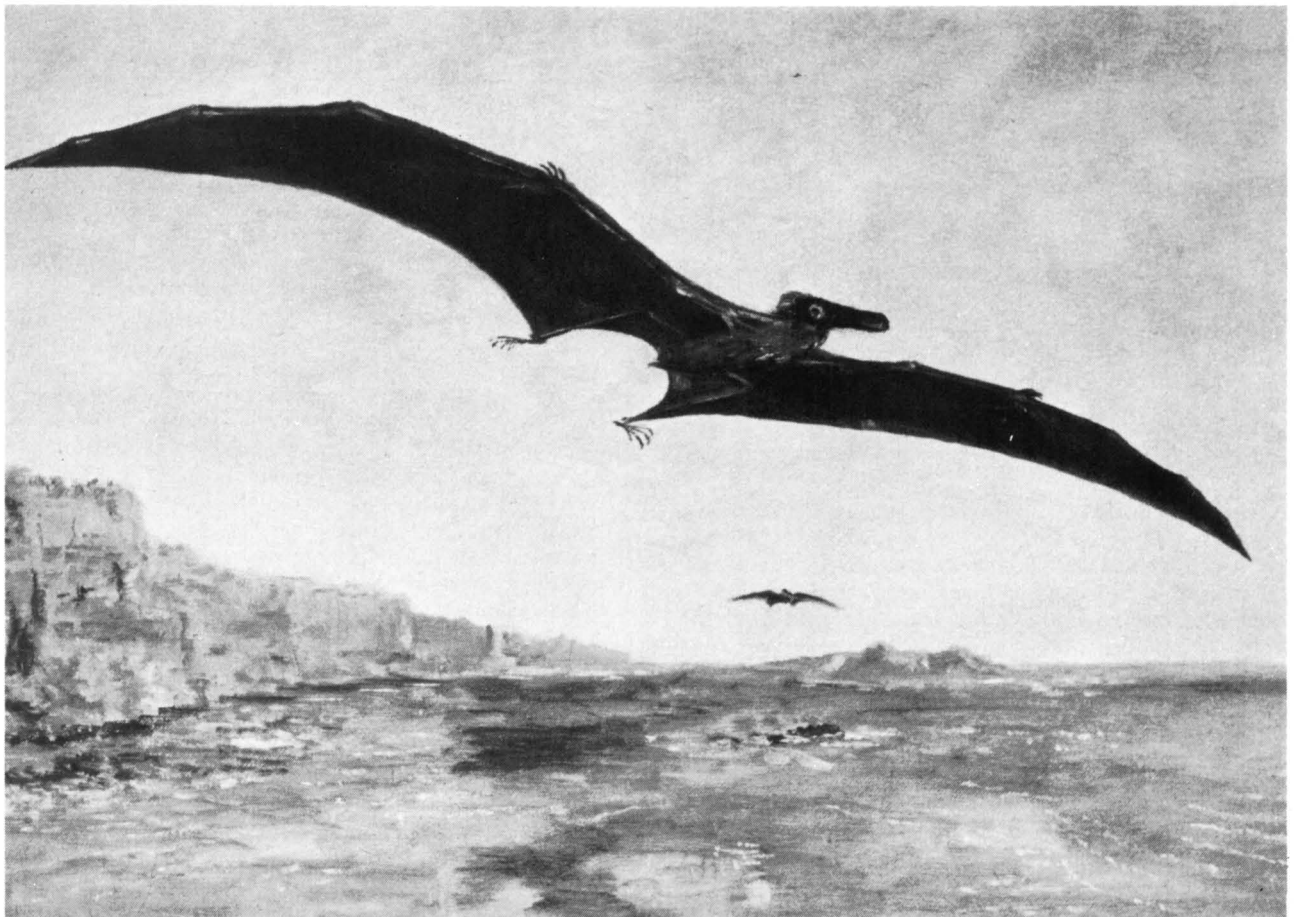
driemaandelijks tijdschrift van de Stichting Geologische Activiteiten  
voor belangstellenden in de geologie en mineralogie

**Inhoud:**

Santanadactylus brasilensis . . . . .	37	Het versteende Woud van Arizona . . . . .	63
Chemische formules III . . . . .	48	Geologische fenomenen in Nederland . . . . .	70
IJzerertsvoorkomens bij Kiruna en Gällivare (Zweeds Lapland) . . . . .	50	Boekbesprekingen . . . . .	75
Hematiet . . . . .	56		
Hematiet van Cumberland, Noord Engeland . . . . .	58	<b>Bijlage:</b> Cursusprogramma 1981 Kringprogramma's, mededelingen.	
Determinatie van mineralen . . . . .	59		

## Santanadactylus brasilensis

*Santanadactylus brasilensis in glijvlucht over riffen en ondiepten tijdens het Onder-Krijt, Noordoost-Brazilië, naar een kleurenplaat in het Geologisch Museum, Universiteit van Amsterdam.*



# Santanadactylus brasilensis:

Skelet—reconstructie van een vliegend reptiel met zes meter vlucht

(Skeletal reconstruction of a flying reptile with a wingspan of six metres)

door: Dr. P.H. de Buissonjé  
Geologisch Instituut  
Nieuwe Prinsengracht 130  
Amsterdam

---

## Abstract

After information on Pterosauria as a whole, more specific data are given on *Santanadactylus brasilensis*, a lower Cretaceous Pterodactyloid with an estimated wingspan of six metres, newly described from northeastern Brasil (de Buissonjé, 1980).

Although the type-material, namely parts of the right scapula-coracoid and right humerus (holotype), together with two cervical vertebrae (paratypes) is rather fragmentary, reconstruction of these skeletal elements is possible. Moreover, comparison of the reconstructed elements with other, more completely known, closely related species of Pterodactyloidea enabled a scientifically reliable reconstruction of skeletal parts, not present in the type-material of *Santanadactylus*.

Both scientific as well as technical data are given on the complete skeletal reconstruction of *Santanadactylus brasilensis*, executed in plastics, exposed in soaring flight in the Geological Museum, University of Amsterdam.

## Korte inhoud

Na enige algemene informatie over de Pterosauria worden nadere gegevens vermeld over *Santanadactylus brasilensis*, een Onder-Krijt Pterodactyloid met een geschatte vleugelspanwijdte van zes meter, kort geleden beschreven uit Noordoost-Brazilië (de Buissonjé, 1980).

Hoewel het type-materiaal, te weten delen van de rechter schoudergordel en het rechter opperarmbeen (holotype), samen met twee halswervels (paratypes) tamelijk fragmentair is, kunnen deze skelet-elementen worden gereconstrueerd.

Bovendien kan op grond van vergelijking tussen deze gereconstrueerde skelet-elementen en meer volledig bekende, nauw verwante soorten van Pterodactyloidea, een wetenschappelijk verantwoorde reconstructie worden gegeven van skelet-delen die niet aanwezig zijn in het type-materiaal van *Santanadactylus*.

Zowel wetenschappelijke als technische gegevens worden vermeld over de volledige skelet-reconstructie van *Santanadactylus brasilensis*, uitgevoerd in plastic, in glijvlucht opgesteld in het Geologisch Museum, Universiteit van Amsterdam.

---

## Inleiding

*Santanadactylus brasilensis*, een nieuwe soort uit de Orde Pterosauria, de Vliegende Reptielen, werd vorig jaar beschreven op grond van een aantal beenfragmenten die gevonden waren in twee concreties, afkomstig uit het Onder-Krijt (Aptian) van Noordoost-Brazilië (de Buissonjé, 1980). Op didactische gronden leek het nuttig om tevens een skelet-reconstructie van het complete dier te geven en deze is thans in volle vlucht opgesteld in één der zalen van het Geologisch Instituut, Universiteit van Amsterdam (afb. 1).

Hoewel het voor een leek soms wat onzeker lijkt om op grond van enkele beenstukken een nieuwe soort op te stellen, laat staan een volledige skelet-reconstructie te geven, zal hier worden aangegeven hoe men tot een dergelijk wetenschappelijk verantwoord model komt (ook enkele technische gegevens over de reconstructie zullen worden vermeld). Behalve de fragmentaire, nieuwe vondst is er immers veel meer bekend: er zijn vaak uitgebreide beschrijvingen, foto's en tekeningen van andere, min of meer verwante soorten, waarvan in sommige gevallen zelfs complete skeletten bekend zijn geworden. Er is dus ruimschoots de mogelijkheid tot vergelijkend onderzoek.

Bovendien is het in dit geval van belang om op te merken dat het skelet van de Vliegende Reptielen in hoge mate

functioneel was, d.w.z. in sterke mate was aangepast aan zuiver technische, aerodynamische eisen die voor elke soort golden.

Hoewel er vele verschillende soorten van Vliegende Reptielen zijn opgetreden, vormen ze stuk voor stuk niet meer dan varianten op het reeds in de Trias aanwezige bouwpatroon. Men kan zelfs vergelijkenderwijs stellen dat de evolutie van de Pterosauria grote trekken van overeenkomst vertoont met de ontwikkeling die in de luchtvaarttechniek heeft plaatsgevonden vanaf de primitieve vliegtuigtoestellen van Lilienthal tot die van de huidige luchtvaartreuzen. Stabiliteit tijdens de vlucht, gewichtsvermindering van het frame of skelet, vermindering van luchtweerstand, zweefvlucht en het gebruik van stuwkracht, besturing, moeilijkheden indien grotere vormen worden nagestreefd, al deze kwesties hebben een rol gespeeld zowel in de evolutie van de Pterosauria als in de luchtvaarttechniek.

De Vliegende Reptielen, de eerste vertebraten die met goed gevolg meer dan honderd miljoen jaar het luchtruim beheersten, zijn bekend van Boven-Trias tot Boven-Krijt. Ze worden onderverdeeld in twee grote groepen: de primitievere, stabielere, lang-staartige vormen (Suborde Rhamphorhynchoidea; Boven-Trias tot Boven-Jura) en de hoger ontwikkelde, minder stabiele kort-staartige vormen (Suborde Pterodactyloidea; Boven-Jura tot Boven-Krijt). Afb. 2 en 3 geven van deze twee vormen het vlieg-silhouet. In beide vormen van Pterosauria berustte het vliegvermo-

gen op extreme aanpassingen in de voorste ledematen, samen met allerlei andere specialisaties zoals bijvoorbeeld een tot het uiterste doorgevoerde gewichtsvermindering van het gehele skelet. Een dunne vlieghuid kon worden uitgespannen tussen de zijdelings uitgestrekte, zéér sterk verlengde vier "kootjes" van één enkele vinger, de middelhand, onder- en bovenarm, de zijkant van de romp en de buitenkant van de achterpoot. Een kleiner stuk vlieghuid bevond zich vóór de eigenlijke vleugel tussen de onderarm en de plaats waar de hals in de romp overgaat. Een derde vlieghuid was aanwezig tussen de binnenkant van de achterpoot en het achtereinde van de romp. Bij de langstaartige vormen was er nog een ruitvormig "roer" aan het uiteinde van de weinig buigzame, lange staart. Een vergroting van het longoppervlak, noodzakelijk in verband met het hoge energieverbruik bij het vliegen, werd o.a. verkregen door extra-longvertakkingen met voortzetting daarvan tot in de holle beenderen. Sterke afkoeling werd tegengegaan door een haarbekleding en er zijn ook aanwijzingen dat ze, net als de vogels, warmbloedig waren. Zwemvliezen tussen de tenen maken duidelijk dat de Pterosauria op en bij het water leefden. Ook in de hersenen zijn specialisaties aangetoond. Bestudering van de binnenzijde van de schedel toont dat de centra, samenhangend met het zicht en vooral die, welke de ingewikkelde besturingsfuncties mogelijk maakten, relatief krachtig zijn ontwikkeld (Wellnofer, 1978).

Sedert de eerste vondst uit 1784 zijn meer dan honderd soorten bekend geworden. Ze zijn aangetroffen over de gehele wereld: Europa, Noord- en Zuid-Amerika, Azië, Afrika en Australië. Hun afmetingen varieerden van ongeveer die van een spreeuw tot die van een vliegtuig met meer dan 15 meter vlucht!

afb. 1. De volledige skelet-reconstructie van *Santanadactylus brasilensis*, in glijvlucht opgesteld in het Geologisch Museum, Universiteit van Amsterdam.

Hoewel er bij verschillende soorten nogal wat variatie is in schedelbouw en gebit, waren het alle roofdieren. Vondsten, waarbij tevens de maaginhoud of de inhoud van een keelzak was gefossiliseerd, tonen aan dat ze leefden van vis en kreeft.

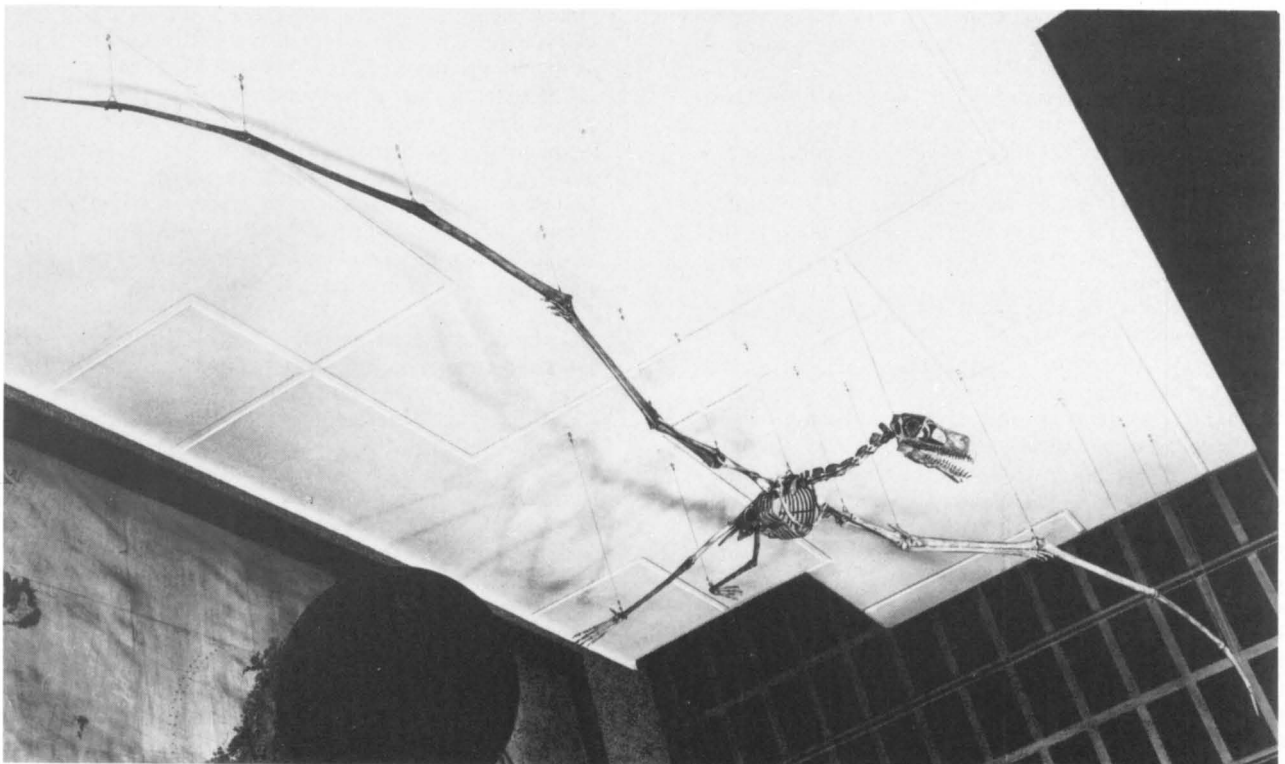
*Santanadactylus brasilensis*, waarvan hier de skelet-reconstructie zal worden toegelicht, behoort tot de grotere vormen van de kort-staartige Pterodactyloidea uit het Onder-Krijt.

Hoewel de nóg grotere vormen als *Pteranodon ingens* (6,80 meter vlucht) en *Quetzalcoatlus northropi* (15,5 meter vlucht) pas in het Boven-Krijt optraden, is toch de Onder-Krijt-vorm *Santanadactylus* reeds van niet onaanzienlijke afmetingen. De vleugelspanwijdte van *Santanadactylus* bedroeg ongeveer 6 meter. Het nuttig vleugeloppervlak was daarbij ongeveer 3 m<sup>2</sup> en het gewicht kan worden berekend op ruim 9 kg. Het was bij uitstek een zweefvlieger die echter ook kon klapwieken. Het gelijkmatige, relatief warme klimaat gedurende de Krijtperiode bevorderde het gebruik maken van thermiek en van opstijgende wind langs klifkusten. Daarbij stelden de lange, beweeglijke hals en een geringe minimale vliegsnelheid *Santanadactylus* in staat om scherend over het wateroppervlak zijn voedsel te vangen zonder daarbij zijn zweefvlucht te onderbreken.

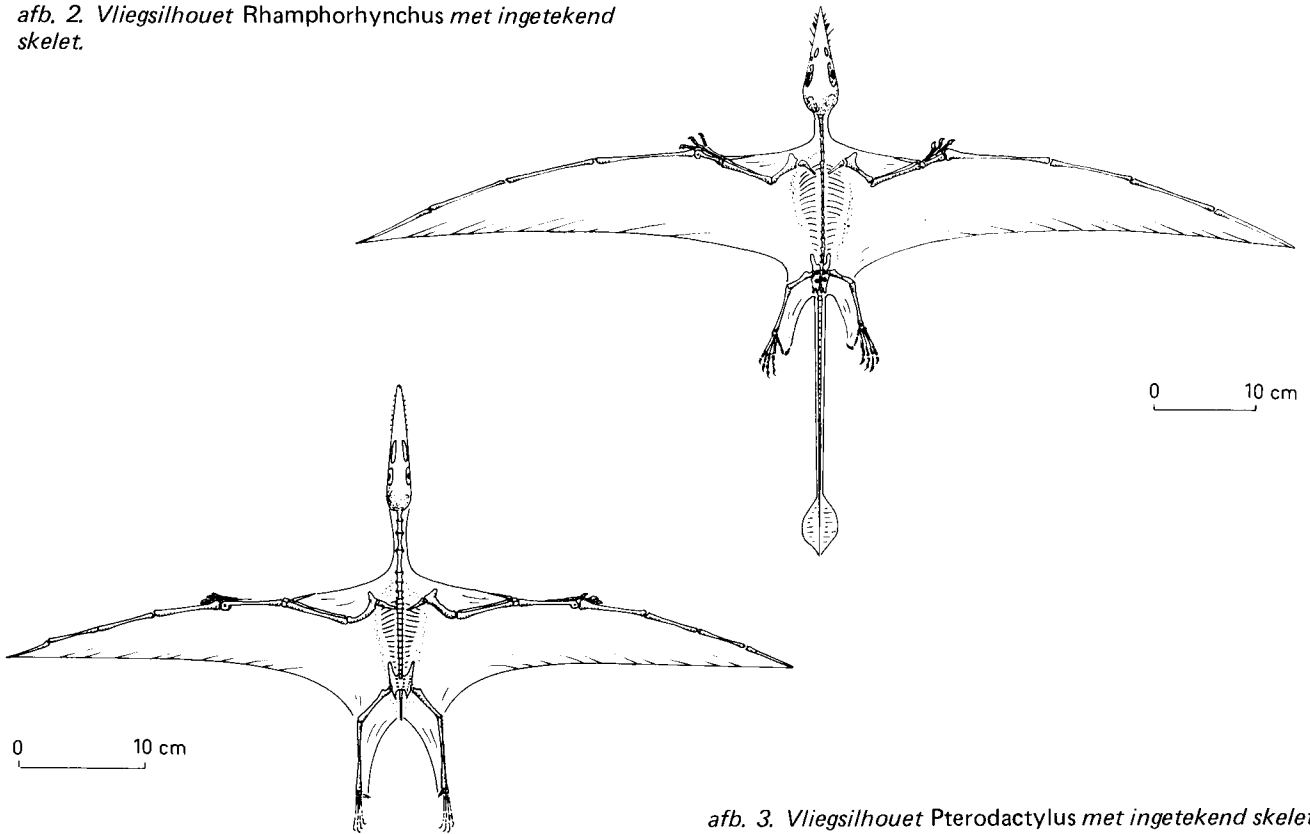
### Uitgangspunten voor de reconstructie: holotype en paratypes

#### Holotype

Twee aaneengegroeide beenstukken van de rechter schoudergordel plus een deel van het daarbij behorende rechter opperarmbeen werden samen in één concrectie aangetroffen (afb. 4). Zij vormen het holotype, het in een openbaar museum opgeborgen, volgens internationale regels beschreven oorspronkelijke materiaal van de nieuwe soort. Bij de Vliegende Reptielen is vooral de schoudergordel een



afb. 2. Vliegsilhouet *Rhamphorhynchus* met ingetekend skelet.



afb. 3. Vliegsilhouet *Pterodactylus* met ingetekend skelet.

“technisch” belangrijk onderdeel van het skelet. Hier zaten immers de belangrijke vliegspijeren aangehecht en in verband met het overbrengen van krachten tussen vleugels en romp was de schoudergordel van een speciale, zeer stevige constructie.

Kijken we van voren tegen de schoudergordel aan (afb.5) dan vormt deze een gesloten cirkel: Links- en rechtsboven bevinden zich de twee gebogen schouderbladen, waarvan de naar de ruggesgraat verlopende uiteinden bij de grotere *Pterodactyloidea* eindigen in een gewrichtsknobbels. Deze gewrichtsknobbels sluiten aan op een langgerekte beenplaat die is ontstaan uit de aan elkaar vastgegroeide doornuitsteeksels van een achttal rugwervels, het notarium. Links- en rechtsonder wordt de gesloten cirkel gevormd door de twee gebogen ravenbeksbeenderen (coracoïd of beter pro-coracoïd genaamd: ze komen alleen voor bij reptielen, vogels en de eierleggende zoogdieren; vergelijk A.S. Romer, 1971).

Midden-onder komen de twee ravenbeksbeenderen ook weer met gewrichtsknobbels vlak bij elkaar, passend in twee gewrichtskommen aan de binnenzijde van het borstbeen. Op halve hoogte van de cirkelvormige schoudergordel nu, waar rechter schouderblad en rechter ravenbeksbeen bij elkaar komen en samengegroeid zijn, vormen ze gezamenlijk de gewrichtskom voor het rechter opperarmbeen. Hetzelfde op halve hoogte links.

Vergelijken we deze constructie met die van een recente vogel, dan blijkt dat de schoudergordel bij de grotere *Pterodactyloidea* veel steviger is. De gordel sluit veel steviger en directer aan op de rugwervels en de gewrichtskom voor het opperarmbeen, een gezamenlijke vorming van schouderblad en ravenbeksbeen, is stevig vergroeid tot één grote beenknobbel. Daar we bij *Santanadactylus* te maken hebben met een dergelijke tot één geheel samengegroeide gewrichtskom, die bovendien van grote afmeting

is, kan reeds geconcludeerd worden dat we te maken hebben met een Vliegend Reptiel van relatief grote afmetingen.

Het holotype omvat naast de rechter schoudergewrichtskom tevens een belangrijk deel van het rechter opperarmbeen. Dit deel, de kop van het opperarmbeen, past in het schoudergewricht en behoorde aan één en hetzelfde individu. Hoewel het opperarmbeen niet over de gehele lengte bewaard was gebleven, bevatte het toch nog de volledige aanhechtingskam van de grootste vliegspeer. Deze aanhechtingskam treedt als een zware, iets gebogen lijst uit de schacht van het bot naar voren, zie afb. 4. Literatuuronderzoek leerde dat opperarmbeen-gedeeltes van vergelijkbare vorm en grootte reeds in de vorige eeuw bekend zijn geworden uit het Onder-Krijt (Weald) tot Cenomaan van Europa (Familie *Criorhynchidae*) en op grond van overeenkomsten wordt *Santanadactylus brasiliensis* dan ook gerekend tot deze familie van kortstaartige vormen (Owen, 1861, 1873; Seeley, 1870).

Daarnaast vertoonde het opperarmbeen van *Santanadactylus* een grote mate van overeenkomst met het opperarmbeen van *Pteranodon ingens* uit het Boven-Krijt (Santonian) van Noord-Amerika, een der grootste vormen met 6.80 meter vlucht.

Juist van *Pteranodon* zijn vele vondsten bekend, vaak met meerdere beenderen van één individu te zamen. Een goede vergelijking met deze meer complete vondsten is hierdoor mogelijk. Op grond hiervan kon niet alleen het opperarmbeen van *Santanadactylus* wat zijn oorspronkelijke lengte betreft op 24 cm worden berekend (afb. 6), maar kon tevens een betrouwbaar beeld worden verkregen van de verhoudingen tussen dit opperarmbeen en de —ontbrekende— overige delen van het vleugelskelet. Ook op een geheel andere wijze bleek de vondst van de kop van het opperarmbeen, samen met de schouder-

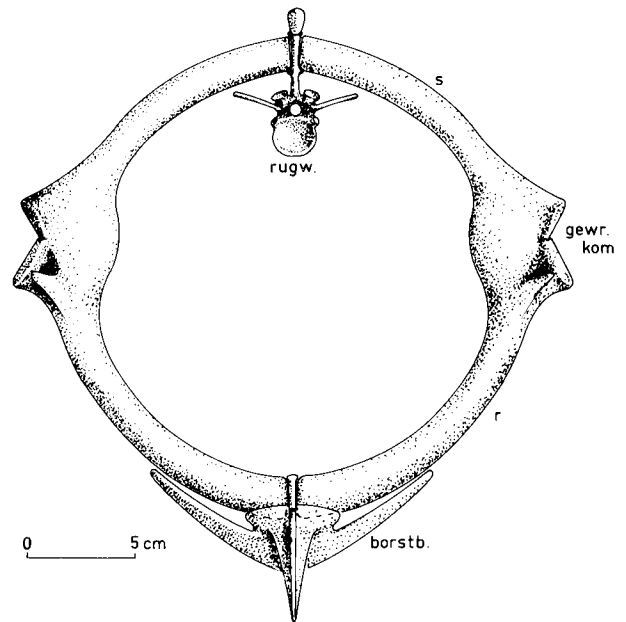
gewrichtskom van hetzelfde individu, van groot belang. Bij *Pteranodon* is namelijk in een uitvoerige studie aangetoond (Bramwell & Whitfield, 1974), dat het schoudergewricht zodanig is geconstrueerd dat bij een stand van het opperarmbeen van  $20^{\circ}$  naar achteren en  $19^{\circ}$  omhoog, de kop van het opperarmbeen in een soort "slot" van het gewricht springt. In deze min of meer gefixeerde stand werden de vliegsieren minder sterk belast en kon *Pteranodon* langdurige zweefvluchten maken. Precies dezelfde, vrij ingewikkelde constructie bleek ook aanwezig in het schoudergewricht van *Santanadactylus*, zodat geconcludeerd kan worden dat deze vorm eveneens een uitstekende zweefvlieger was. Daarnaast kon *Santanadactylus* ook klapwieken, zich dus door middel van eigen spierkracht en vleugelslag verheffen, maar zweefvlucht was de meer normale en langer vol te houden manier van voortbewegen in de lucht.

## Paratypes

In de oorspronkelijke beschrijving van *Santanadactylus* zijn twee lange halswervels vastgelegd als paratypes, skeletmateriaal behorend tot dezelfde soort en uit dezelfde vindplaats. Deze halswervels bevonden zich nog in hun oorspronkelijke levenspositie binnen één concretie, d.w.z. de achterkant van de voorste, kleinere halswervel rustte nog met zijn drie gewrichtsvlakken tegen de voorkant van de grotere, erachter volgende wervel. Wat hierbij vóór- en achterkant van een wervel was kon gemakkelijk worden uitgemaakt omdat bij de Pterosauria alle wervellichamen aan de voorkant hol, aan de achterkant bol zijn. Nu bezitten vrijwel alle Pterosauria zeven (een heel enkele misschien acht) halswervels. Van deze zeven halswervels zijn bij de grotere Vliegende Reptielen de eerste twee, de atlas en draaier dus, altijd tot één, vrij kort geheel, aan elkaar vastgegroeid. Naar achteren volgen daarop dan in steeds toenemende grootte de wervels genummerd drie, vier en vijf en dan in afnemende grootte nummer zes en zeven (en soms misschien acht). Maar steeds is de vijfde halswervel uit de reeks het grootst. Daar de twee halswervels van *Santanadactylus* naar



afb. 4. *Santanadactylus brasiliensis*. Holotype: deel rechter schoudergordel en opperarmbeen.



afb. 5. Reconstructie van de schoudergordel, voor-aanzicht.

achteren in grootte toenamen en de voorste zeker niet de samengegroeide atlas en draaier was, kon hun positie in de reeks van halswervels als derde en vierde of als vierde en vijfde worden vastgelegd. Het laatste werd in de reconstructie aangenomeen.

Door nu gebruik te maken van de bij andere Pterodactyloidea gevonden, complete halswervelreeksen en de verhoudingen van de wervels onderling na te gaan, kunnen ook voor *Santanadactylus* de lengten van de halswervels, ook de ontbrekende dus, worden berekend (afb. 7). De berekende en aan de paratypes gemeten lengten van de halswervellichamen worden dan: wervel I + II samen 5,2 cm; wervel III wordt 6,5 cm; wervel IV wordt 7,3 cm; wervel V, de grootste is 8,8 cm; wervel VI wordt 8,1 cm; wervel VII wordt 6,9 cm.

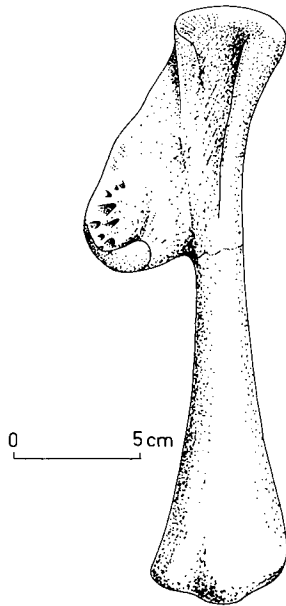
Opgemerkt dient te worden dat bij *Santanadactylus* de vijfde halswervel, met lengte van het wervellichaam van 8,8 cm, groter of beter gezegd, langer is dan de vijfde halswervel bij *Pteranodon ingens*, waar deze vijfde slechts 8,3 cm groot is.

Toch heeft *Pteranodon* een groter opperarmbeen dan *Santanadactylus* en daarmee samenhangend een grotere vleugelspanwijdte zodat geconcludeerd mag worden dat *Santanadactylus* relatief een langere hals bezat dan *Pteranodon*.

## Technische gegevens over de skelet-reconstructie

Uitgegaan werd van het type-materiaal van *Santanadactylus brasiliensis*, te weten dus de rechter schoudergewrichtskom met delen van schouderblad en ravenbeekbeen, het daarin passende bovenste deel van het rechter opperarmbeen en de twee halswervels. Van deze objecten werden in siliconenrubber eerst negatieven vervaardigd. In deze negatieven werden weer positieven afgegoten in twee-componenten-plastic met lichtgrijze vulstof, een z.g. polyplamuur zoals die veelal wordt gebruikt voor het wegwerken van deuken in autoplaatwerk. In sommige gevallen werd dit afgietmateriaal, vóór het toevoegen van de harder, wat dunvloeiender gemaakt. De hardingstijd be-

afb. 6. Reconstructie r. opperarmbeen.



droeg ongeveer 15 minuten.

Als eerste werden aan de afgietsels van het type-materiaal de ontbrekende delen gecompleteerd. Hiertoe werden in vooraf geboorde gaatjes stukken dik koperdraad van de gewenste lengte en kromming met stevige lijm vastgezet. Op deze koperdraadstukken werd dan weer tweecomponenten-plastic aangebracht en overtollige gedeelten werden nog vóór het volledig uitharden weggesneden. Ná het uitharden konden de bijgevormde gedeelten met een grove vijl, tandartsboormachine en schuurpapier verder worden bewerkt en vast zoveel mogelijk in de gewenste vorm worden gebracht. Vaak was het echter nodig om een tweede, derde of vierde keer tweecomponenten-plastic op te brengen om het beoogde resultaat te verkrijgen.

De ontbrekende delen werden gevormd naar de vaak uitstekende beschrijvingen en afbeeldingen zoals die gegeven worden door Owen, 1859, 1861, 1873; Seeley, 1870; Williston, 1903; Wellnhofer, 1978 en vooral die van Eaton, 1910 en van Bramwell & Whitfield, 1974. Deze auteurs behandelen nauw verwante, grote Cretaceïsche Pterodactyloidea en het blijkt dat er vooral wat betreft het skelet van romp en ledenmaten slechts geringe verschillen zijn tussen de soorten onderling. Dit geldt niet alleen voor het aantal van de samenstellende been-elementen in bijv. de vleugel of achterpoten, maar tevens voor de vorm van de gewrichtsuitenden en, wat zeer belangrijk is, ook voor de verhoudingen van de beenstukken onderling. Met een grote mate van betrouwbaarheid konden hierdoor totaal ontbrekende skeletdelen van *Santanadactylus* worden gereconstrueerd door gebruik te maken van bijv. het goed bekende skelet van *Pteranodon* (Eaton, 1910; Bramwell & Whitfield, 1974) en de verhoudingen in de lengten der been-elementen van deze iets grotere soort om te rekenen naar de iets kleinere, bekende beenstukken van *Santanadactylus*.

Zo werd als eerste het rechter opperarmbeen gecompleteerd en op een lengte van 24 cm gebracht. Daarna werden rechter schouderblad en ravenbeksbeen in hun oorspronkelijke, complete vorm hersteld met de iets breder uitlopende, stompe gewrichtsuitenden bij resp. de wervelkolom en het borstbeen.

Technisch wat moeilijker was het ruimtelijk spiegelen van de rechter been-elementen naar de linker zijde. Dit werd gedeeltelijk gedaan via een siliconenrubber negatief van de pas vervaardigde, complete rechter elementen, waarvan sommige delen werden weggeslepen van het afgegoten positief, waarna extra opgebrachte tweecomponenten-plastic op het oog in ruimtelijk spiegelbeeld werd gemodelleerd.

Om de schoudergordel te completeren diende nu het notarium, d.i. de acht aaneengegroeide rugwervels en het borstbeen te worden gevormd.

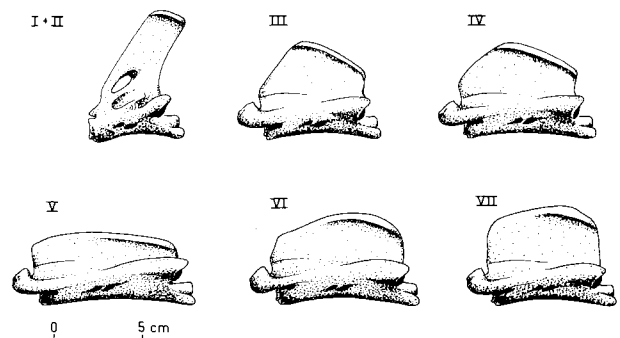
Van *Criorhynchus simus* (Owen, 1861), de meest direct verwante vorm van *Santanadactylus*, is een fragment van het borstbeen met daarop de twee dicht bij elkaar liggende gewrichtskomen voor de twee ravenbeksbeenderen bekend. Voor de reconstructie werd tevens gebruik gemaakt van het identiek gevormde, doch meer volledig bekende borstbeen van *Pteranodon* (Eaton, 1910, Plate XIV, XV en XVI, afb. 5). Daarbij werd de verhouding in de lengte van het opperarmbeen van *Santanadactylus* (24 cm) t.o.v. *Pteranodon* (29 cm; Bramwell & Whitfield, 1974) als lineaire verkleiningsmaatstaf gebruikt om de afmetingen voor de reconstructie van het borstbeen van *Santanadactylus* te bepalen (afb. 8).

Op deze wijze werd ook het notarium, de acht aaneengegroeide rugwervels zoals die bij alle grotere Cretaceïsche Pterodactyloidea optreden, afgeleid uit de maten die bekend zijn voor *Pteranodon*. Uitgegaan werd van de tekeningen van Eaton, 1910, Plate VI, afb. 17, 21 en 22 waar drie aanzichten van de eerste vrij beweeglijke rugwervel direct achter het notarium worden gegeven en van Plate VIII waar het notarium als één geheel in vier verschillende aanzichten wordt afgebeeld.

Met behulp van een schuifmaat werd zo nauwkeurig mogelijk deze vrij beweeglijke rugwervel, ná omrekenen van de afmetingen, gemodelleerd uit een blokje harde tweecomponenten-plastic.

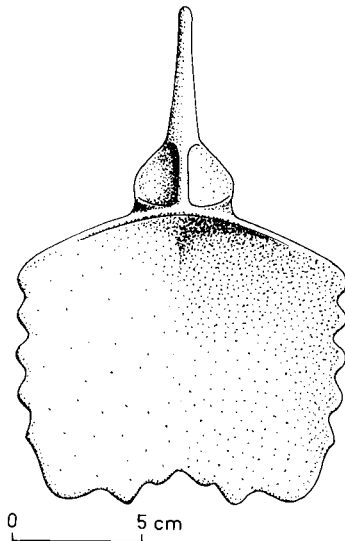
Hiervan werd weer een siliconenrubber negatief vervaardigd. Door hiervan acht afgietsels te maken en deze met tweecomponenten-plastic aan elkaar te verbinden, kon het notarium worden samengesteld. Hierbij werden de voorste twee wervels uit het notarium iets zwaarder, met iets langgerekter wervellichaam uitgevoerd, overeenkomstig de beschrijvingen van Eaton 1910.

De doornuitsteeksels werden verenigd tot één doorlopende plaat met daarop, tussen de derde en vierde wervel, aan weerszijden de gewrichtskom voor het schouderblad. Ook de dwarsuitsteeksels van de acht wervels werden met een lijstje van tweecomponenten-plastic aan elkaar "gegroeid" (afb. 9).



afb. 7. Reconstructie halswervelkolom in linker zijzicht. De wervels IV en V naar de paratypes getekend.

afb. 8. Borstbeen, binnenzijde.



De ribben, verbonden met de wervels van het notarium, werden gevormd door eerst één enkel paar te maken, een linker- en een rechterrib, elk met een dubbel gewrichtsvlakje naar de rugwervelkolom. Van deze twee ribben werd een siliconenrubber negatief gemaakt en hiervan meerdere keren steeds één paar afgegoten, elke rib verstevigd met een dunne staaldraad, ingegoten in het centrum. De ribben aan de voorzijde van het notarium werden wat zwaarder, wat dikker uitgevoerd dan de meer naar achteren geplaatste ribben. Tenslotte werden acht paar ribben met tweecomponenten-plastic vastgekit aan het notarium, iets schuin naar achteren wijzend. Van deze acht paar werden de voorste zes paar weer met een schuin naar voren wijzend staafje harde tweecomponenten-plastic verbonden aan de zijkanen van het borstbeen. De overige twee paar ribben van het notarium werden als kortere, zwevende ribben uitgevoerd en een derde paar, nog kortere zwevende ribben werd vastgekit aan de eerste vrije rugwervel, direct achter het notarium volgende.

De aldus geplaatste negen paar ribben werden met twee gebogen messing staafjes, één links en één rechts, halverwege de lengte van de ribben op hun plaats vastgezet om enige extra-versteviging aan de ribbenkast te geven. In een laat stadium van de reconstructie werden een 5-tal z.g. buikribben, zeer dunne V-vormige beenstaafjes, geplaatst achter het borstbeen. Hierna konden de linker- en rechterhelft van de schoudergordel worden geplaatst. Deze bleken op 1 à 2 mm ná precies te passen in de daarvoor bestemde gewrichtskommen van het notarium en het borstbeen. De schoudergordel loopt daarbij, van opzij gezien, kruiselings over de voorste ribben, omgrijpt als het ware de voorkant van de ribbenkast (afb. 10).

Daar alle wervels direct met een open centraal zenuwkanaal werden gegoten konden het notarium en de daaropvolgende eerste vrije rugwervel nu op een messing staaf van 5,5 mm diameter worden geschoven. Achter deze reeks werden nu nog eens drie vrije rugwervels in de reconstructie opgenomen. Dit aantal is conform met opgaven voor *Pteranodon* en de wervels werden naar achteren toe steeds iets zwaarder, met een iets langer wervellichaam uitgevoerd (afb. 9). Het hierop in achterwaartse richting volgende heiligbeen, een tiental samengegroeide wervels, waarvan ook weer de doornuitsteeksels en de dwarsuitsteeksels lijstvormig met elkaar vergroeid zijn, werd direct als één stuk gevormd

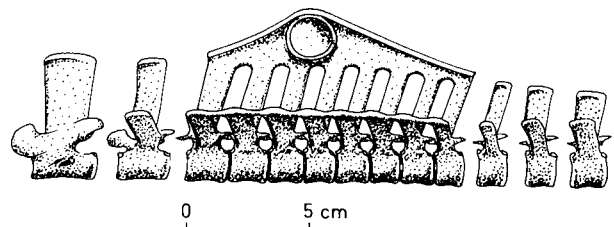
naar afbeeldingen van Eaton, 1910, Plate XI. Naar dezelfde afbeelding van Eaton werd ook het bekken gevormd. Hiervoor werd een plastic vezelmat in het gewenste model geknipt, met tweecomponenten-plastic verbonden aan het heiligbeen en later aan binnen- en buitenzijde bestreken met plastic (afb. 11). Aan weerszijden werd hierop de —gesloten— gewrichtskom voor het dijbeen gevormd en het foramen tussen zitbeen en schaambeen als een opening uitgeboord. De naar voren stekende tak van het schaambeen, de z.g. praepubis, werd apart gemodelleerd en daarna via een rubber negatief twee maal afgegoten. In deze afgietsels werd een koperdraad ingegoten, uitstekend aan de achterkant. Deze uitstekende koperdraad-einden werden later in geboorde gaatjes aan de voorrand van het bekken geplaatst en de verbindingsplaats met tweecomponenten-plastic afgewerkt.

De staartwervelkolom was van zeer eenvoudige constructie: deze wervels dragen geen uitsteeksels meer en konden als een elftal ringvormig verlopende geulen, naar achteren toe steeds dichter bij elkaar liggend, worden uitgeslepen uit een hof gegoten, conisch verlopende staaf van uitgeharde tweecomponenten-plastic (afb.11). Het getal van elf staartwervels is arbitrair; Eaton, 1910 vermeldt minstens 5 wervels voor een incompleet bewaarde staartwervelreeks van *Pteranodon*.

Voor de halswervelkolom kon worden uitgegaan van de paratypes, twee langgerekte, aaneensluitende wervels waarvan de lengte van het wervellichaam 7,3 en 8,8 cm bedroeg. Van de grootste der twee werd een rubber negatief vervaardigd en dit negatief werd een aantal keren, met open zenuwkanaal, afgegoten. Daar deze wervel als vijfde, dus als grootste in de halswervelreeks werd beschouwd, dienden de wervels ervoor en erachter korter te worden. Hiertoe werden uit de afgegoten wervels in het midden stukken weggezaagd en de overblijvende delen, waaraan de dwars uitstekende knobbels met de zijdelingse gewrichtsvlakjes vastzitten, weer aan elkaar gekit. Uit de paratypes bleek dat —in ieder geval naar voren toe— de kortere halswervels juist een hogere kam als doornuitsteeksel bezaten. Ditzelfde werd ook naar achteren toe aangenomen zodat in de reconstructie de kortste halswervels juist de hoogste doornuitsteeksels hebben (afb. 7).

Atlas en draaier, bij alle grotere vormen van *Pterodactyloidea* tot één geheel vergroeid, werden ook hier als één geheel gevormd naar de bestaande afbeeldingen van deze grotere vormen.

Tussen de halswervelkolom en het notarium werden tenslotte, naar analogie met *Pteranodon* twee tussenliggende wervels aangenomen. Deze nemen t.o.v.de achterste halswervel snel in lengte af en vormen als het ware de overgangsschakel tussen de lange halswervels en de kortere rugwervels (afb. 9). Beide tussenliggende wervels werden



afb. 9. Reconstructie van het notarium (acht aaneengegroeide rugwervels) met twee vrije, ribbendragende wervels ervoor en drie (van de vier) erachter.



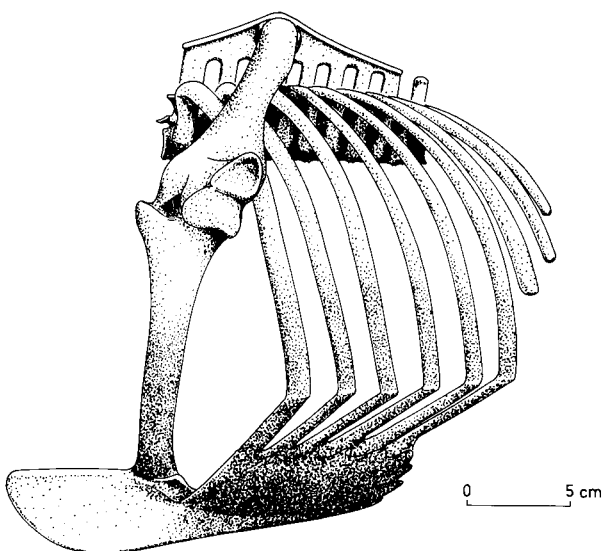
apart gemodelleerd en dragen ribben; de voorste één paar zeer kleine ribben, de achterste één paar brede, blad-vormige ribben die ongeveer half zo lang zijn en ook wat sterker gebogen zijn dan de ribben die het notarium met het borstbeen verbinden.

Zoals reeds werd opgemerkt, werden alle wervels direct met een hol, open centraal zenuwkanaal gegoten. Dit werd gedaan door in het rubber negatief, dat uit twee gelijke helften bestond, steeds voor het afgieten een met vet ingesmeerd messing staafje te leggen. Ná het gieten van het positief werd dan dit staafje uit het afgietsel getrokken. In een later stadium van de reconstructie werd in dit holle zenuwkanaal een dunwandig messing buisje met 6 mm binnen-diameter vastgekit. Dit was vooral van belang bij de langgerekte halswervels, het notarium en het bekken omdat de hele wervelkolom, ná op een lange messingstaaf van 5,5 mm diameter te zijn geregen, in een grote S-bocht moest worden gebogen.

Een van de moeilijkste gedeelten in de reconstructie was de vervaardiging van de schedel. Van *Criorhynchus simus* (Owen, 1861), de nauwst verwante soort van *Santanadactylus*, is namelijk nooit een complete schedel gevonden. Wél zijn een aantal fragmenten bekend, waaruit we weten dat de voorzijde van de snuit een stompe, hoge vorm bezat met vrij ver uit elkaar geplaatste, penvormige tanden. Ook het achterhoofd is bekend, een achterhoofd waaraan zich géén naar achteren uitstekende kam bevond zoals de latere *Pteranodon* die wél bezat.

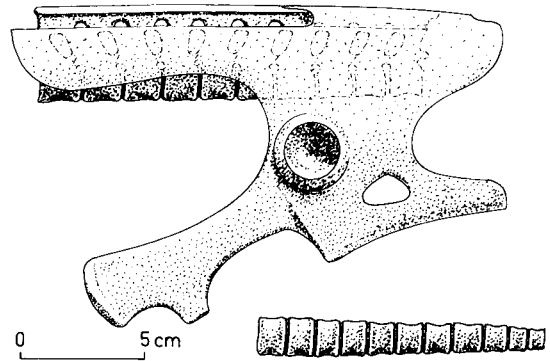
Ook voor *Santanadactylus* kunnen we met vrij grote zekerheid aannemen dat deze géén kam achterop de schedel bezat. Van de onderkaak zijn bij *Criorhynchus simus* slechts losse fragmenten gevonden, nooit is een hele onderkaak aangetroffen en over de lengte van de schedel weten we dan ook vrij weinig. Toch heeft Arthaber (1922) een reconstructie-tekening gemaakt van de vorm van de schedel die *Criorhynchus* gehad moet hebben. Wellnhofer (1978) merkte echter op dat deze tekening van Arthaber niet juist zou zijn, dat de schedel van *Criorhynchus* een langgerektere vorm moet hebben gehad.

Uitgaande van de tekening van Arthaber en gebruik makend van de opmerking van Wellnhofer, is nu voor *Santanadactylus* een wat langgerektere schedel gemodelleerd met een totale lengte van 36 cm (afb. 12).



afb. 10. Reconstructie borstkas met schoudergordel, linkeraanzicht.

afb. 11. Linkerzijde bekken met 10 heiligbeenwervels en de staartwervelkolom.



Als zekerheid kon worden aangenomen de smalle hoge vorm met een stompe voorzijde, het bezit van tanden, de aanwezigheid van één grote driehoekige opening vóór de oogkas en het bezit van twee slaapvensters aan elke kant achter de oogkas, de z.g. diapside reptiel-vorm. Ook het bezit van een scleroticaal-ring stond vast. Dit is een krans van kleine, tere plaatjes aan de buitenrand van het hoornvlies, zoals die bij de Pterosauria is aangetoond. In onze reconstructie hebben we 14 plaatjes per scleroticaal-ring aangenomen, liggend tussen het aantal van 20 bij *Pterodactylus* en 12 bij *Pteranodon*.

Met 36 cm lengte is de schedel-reconstructie relatief klein. Vele Boven-Jurassische vormen van Pterodactyloidea hebben een relatief grotere schedellengte en ook bij de tandloze *Pteranodon*, zelfs als we de lange kam achterop niet in beschouwing nemen, vinden we een relatief langere schedel.

Voor *Santanadactylus* werd echter op aerodynamische gronden een relatief kleine schedel gepostuleerd. Bramwell & Whitfield (1974) geven namelijk aan dat de grote schedel met de lange kam bij *Pteranodon* functioneel was bij het vliegen. Werd de schedel namelijk naar links gedraaid, dan ontstond een tegendruk van rechts waardoor een bocht naar links werd ingezet. De grote schedel en kam waren dus hier functioneel bij de besturing. Nu weten we dat *Santanadactylus* extreem lange halswervels bezat, langer zelfs dan die van de in andere opzichten grotere *Pteranodon*. Maar een relatief kleine schedel bij *Santanadactylus* bezat een even grote mogelijkheid om als besturingsorgaan te dienen, daar bij deze vorm een langere hals aanwezig was en de zijdelingse kracht bij scheefgestelde kop via een grotere moment-arm t.o.v. de romp kon werken.

Ook de schedel werd samengesteld door gebruik te maken van buigzame plastic vezelmat. Deze werd in de gewenste vorm gebogen en daarna van binnen en van buiten met tweecomponenten-plastic bestreken. Het verhemelte-gedeelte werd pas later, eveneens met vezelmat als versteviging, in de schedel geplaatst en vastgekit.

De tanden, 13 stuks per bovenkaakhelft, uit conisch geslepen stukjes dik koperdraad, werden in vooraf geboorde gaatjes langs de kaakranden geplaatst. Pas hierná werd de onderkaak gemodelleerd, inwendig verstevigd met een U-vormig gebogen staaldraad.

Tussen de tanden der boven- en onderkaak werden later geulvormige halve openingen weggeslepen om te zorgen dat de onderkaak volledig gesloten kon worden t.o.v. de bovenkaak. Een vrij ver naar achteren geplaatst staafje messing tussen de twee onderkaakhelften zorgde tenslotte



voor een extra-versteving en met een dunne koperdraad tussen dit staafje en de onderkant van de schedel kon in de uiteindelijke opstelling de onderkaak in een iets geopende stand t.o.v. de schedel worden geplaatst (afb.1).

## De extremiteiten

### De vleugel

Bij alle Pterosauria is steeds de vierde vinger omgevormd tot het belangrijkste deel van het vliegorgaan, de vleugel. De eerste, tweede en derde vinger zijn klein en kort gebleven maar dragen wel functionele klauwen. Een vijfde vinger, de pink dus, ontbreekt (afb. 13). De formule voor de kootjes van de vingers is altijd 2. 3. 4. 4. 0.

De vier "kootjes" van de vierde en laatste vinger dus, zijn extreem verlengd en ook zwaarder gebouwd en dragen de grote vlieghuid van de vleugel.

De veel kleinere, smalle vlieghuid vóór de eigenlijke vleugel werd uitgespannen tussen een puntig uitlopend handwortelbeentje, het z.g. pteroidbeen, dat "terug wijst" naar de voorkant van de romp, ongeveer waar de hals in de romp overgaat.

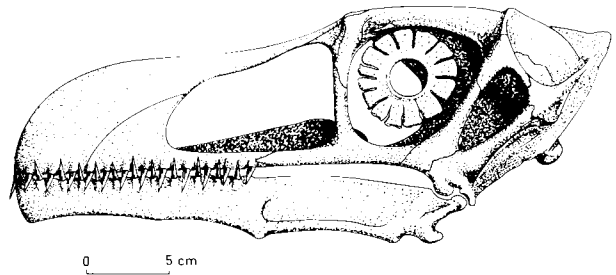
Voor de berekening van de lengte der verschillende beenelementen in de vleugel werd uitgegaan van de waarden die hiervoor zijn vermeld door Bramwell & Whitfield, 1974, tabel 1. Deze waarden, vrijwel overeenstemmend met de onderlinge verhoudingen zoals die worden vermeld door Eaton (1910), werden verkleind volgens de al eerder genoemde verhouding 24 : 29. Dit levert voor de diverse beenelementen uit de vleugel de volgende tabel:

	lengte:	max. diameter in het midden
opperarmbeen	24,0 cm	3,3 cm
spaaakbeen	28,7 cm	1,8 cm
ellepijp	31,8 cm	3,8 cm
handwortel	5,1 cm	5,2 cm
middelhand	55,5 cm	2,3 cm
vliegvingergeleiding I	64,5 cm	3,0 cm
vliegvingergeleiding II	50,8 cm	1,6 cm
vliegvingergeleiding III	33,1 cm	0,8 cm
vliegvingergeleiding IV	20,4 cm	0,6 cm

Elk beenelement, met de daaraan behorende gewrichten, werd eerst uit tweecomponenten-plastic gemodelleerd naar berekende afmetingen en naar afbeeldingen uit de literatuur over verwante soorten. Daarna werd een siliconenrubber negatief van elk beenstuk gemaakt en hierin weer positieven afgegoten. In deze afgietsels werd een versterking aangebracht, afhankelijk van grootte en lengte van het beenstuk bestaande uit messing draad, messing staaf of aluminium buis. Naast versterking gaf dit als voordeel dat minder van de toch vrij dure plastic hoefde te worden gebruikt en dat bovendien het kromtrekken van lange, rechte beenstukken door de ongelijkmatige krimp tijdens het harden werd voorkomen.

De grotere beenstukken, het opperarmbeen, spaaakbeen en ellepijp, handwortelbeentjes, middelhandsbeen en eerste koot van de vliegvinger moesten, nadat ze eerst voor de rechtervleugel waren vervaardigd, elk ruimtelijk gespiegeld worden naar de linkervleugel. Alle gewrichten, zo nauw-

afb. 12. *Santanadactylus brasiliensis*, reconstructie van de schedel.



keurig mogelijk gemodelleerd naar de bestaande tekeningen en beschrijvingen, kunnen dan ook in de reconstructie vrij bewegen.

De messing draad, ingegoten in de opperarmbeenderen, werd zodanig van lengte genomen dat een stuk buiten de kop van het opperarmbeen uitstak. Dit om later een gemakkelijke bevestiging in de schoudergewrichtskom te garanderen. Spaaakbeen en ellepijp werden elk apart gevormd en later gespiegeld naar de linkerzijde.

De handwortel, bij *Pteranodon* slechts uit twee stukken bestaand, werd voor *Santanadactylus* ook als twee aparte beenstukken opgezet. In een later stadium van de reconstructie werden ze echter als één geheel afgegoten daar bij alle Pterodactyloidea uit het Krijt deze twee kleine beenstukken onbeweeglijk verbonden waren. Aan de voorkant van het grootste en dichtst bij de romp gelegen handwortelbeentje is het naar de borst gerichte, aan zijn basis iets gebogen pteroid-been geplaatst.

Hoewel als één geheel uitgevoerd, is het mogelijk dat dit pteroid-been in werkelijkheid uit twee beenstukken is opgebouwd geweest.

De kootjes van de kleine, klauwen-dragende eerste drie vingers werden ieder apart gemodelleerd. Daarvan werden via negatieven weer een aantal positieven gemaakt en deze werden samengesteld tot vinger I met twee kootjes, vinger II met drie en vinger III met vier kootjes. Van deze vingers werden de kootjes aan elkaar gekit waarna van elke vinger een rubber negatief werd gemaakt.

Hiervan werd een dubbel stel afgietsels gemaakt voor de linker- en rechterzijde. De centrale versterkingsdraad in elke afgegoten vinger werd zodanig lang genomen dat deze aan de basis van de vinger enkele cm's uitstak. Deze uitstekende draadeinden werden later ingeboord en vastgezet in de smalle, lange middelhandsbeenderen die voor deze drie kleinere vingers werden uitgevoerd als dunne, afgeronde latjes die later met dun plastic werden bestreken. Hierdoor konden deze aangebogen worden tegen het veel zwaardere middelhandsbeen van de vliegvinger.

De drie kleine, van klauwen voorziene vingers zijn in de reconstructie geplaatst volgens de opvattingen van Williston, 1903. Deze auteur plaatst de drie vingers zodanig dat ze buigen kunnen in dezelfde richting waarin de grote vliegvinger kan opvouwen. Dit in tegenstelling tot de opvatting van o.a. Wellnhofer, 1970, 1978, die van mening is dat de drie kleine vingers naar voren gericht waren.

### De achterpoten

Deze zijn bij de Pterodactyloidea van eenvoudige opbouw (afb. 14): het dijbeen heeft een schuin uit de schacht omhoog stekend, aan de basis iets versmald kogelgewricht

naar het bekken, een zwak achterwaarts gebogen schacht en een eenvoudig, uit twee delen samengesteld kniegewricht naar het scheenbeen. Het scheenbeen is vrijwel recht van vorm, altijd langer dan het dijbeen en draagt een rolgewicht aan de zijde van de voetwortel. Een kuitbeen is niet aanwezig.

Uit het rubber negatief van een oorspronkelijk recht uitgevoerd dijbeen kon, door dit negatief op een gebogen ondergrond te leggen, een achterwaarts gebogen positief worden afgegoten voor de rechterzijde van de reconstructie. Door het negatief andersom te leggen werd het linker dijbeen met zijn achterwaartse kromming gegoten. Ook bij de dijbeenderen werd de centrale verstevigingsdraad zodanig lang genomen dat deze uitstak buiten het kniegewricht, wat bij bevestiging in de gewrichtskom van het bekken makkelijk was.

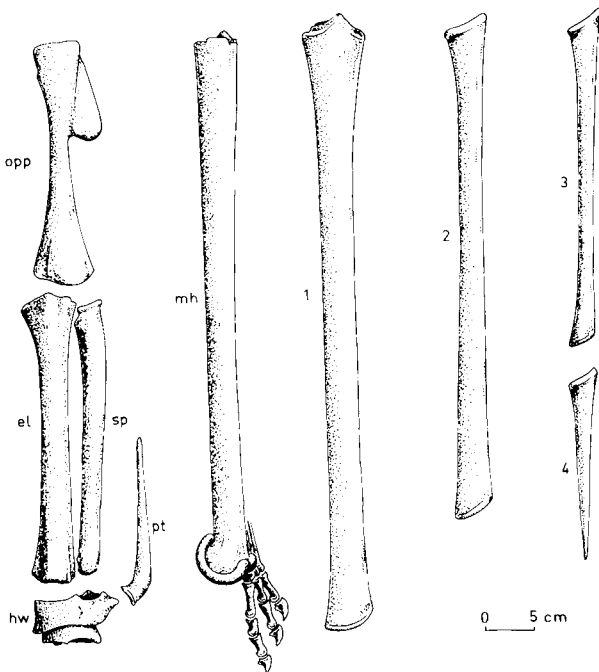
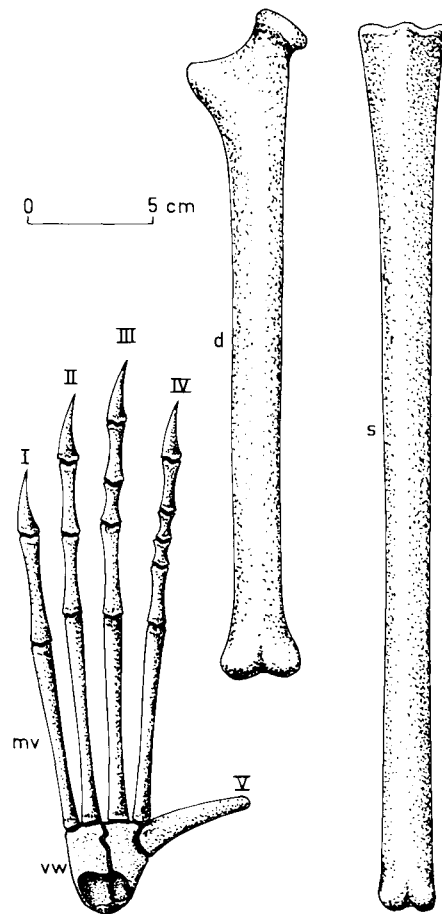
Het negatief van één scheenbeen kon direct worden gebruikt om ook het identiek gevormde tweede scheenbeen af te gieten.

Aan de bovenzijde bevindt zich een vrij breed articulatievlak naar het dijbeen, aan de onderzijde een rolgewricht naar de voetwortel.

De voet werd gemodelleerd naar de tekeningen van Eaton, 1910, Plate XVI, afb. 1. De teenformule van de Pterodactyloidea is 2. 3. 4. 5. 0. In plaats van de vijfde, de kleine teen dus, die afwezig is, bevindt zich hier een dwars uitstekend, sterk verkort vijfde middelvoetsbeentje. Dit dwars op de buitenkant van de voet optredende "spakje" heeft vermoedelijk een functie in het spannen van de vlieghuid gehad (afb. 14, vergelijk ook afb. 3).

Voor de reconstructie werd elke teen apart, maar als één geheel met alle kootjes plus het bijbehorende middelvoetsbeen gemodelleerd en daarna hiervan een rubber negatief vervaardigd. Door elk negatief tweemaal af te gieten konden linker- en rechervoet worden samengesteld. De aan de achterkant uit de afgietsels stekende verstevigingsdraden werden in elkaar gedraaid en hierop de uit twee

afb. 14. De elementen van de r. achterpoot: de voet van boven gezien, dijbeen en scheenbeen van voren.



afb. 13. De elementen van de r. vleugel, bovenaanzicht: opperarmbeen, ellepijp en spaakbeen, handwortel en pteroidbeen: middelhand met de drie kleinere vingers: koot 1 - 4 van vliegvinger.

beenstukken bestaande voetwortel plus het dwars uitstekende "spakje" van de kleine teen gevormd. Door het rolgewrichtje aan het ondereinde van het scheenbeen met vet in te smeren en op de juiste plaats in de nog niet uitgeharde plastic van de voetwortel te drukken en tijdens het uitharden te bewegen, kon een perfect draaiend gewricht tussen voetwortel en scheenbeen worden gemaakt.

#### Afwerking van de afgietsels en inkleuren

Gietnaden in de afgegoten positieven werden met een middelmaat vijl, slijpschijf en schuurpapier weggenomen. Hierná werd het oppervlak, althans van de grotere, lange beenstukken met een langzaam draaiende houtfrais weer ruw gemaakt.

Beenstukken werden over de gehele oppervlakte met een kwast bestreken met speciaal op een oker-achtige "beenkleur" gebrachte, dof slaande olieverf die direct aansluitend werd bestoven met poedervormige omber, een donkerbruine kleurstof. Meteen hierna, dus zonder werd met oude lappen de oppervlakte stevig ingewreven zodat de donkerbruine kleurstof in grotere en kleinere holten van het oppervlak achterbleef, maar de gladdere gedeelten grotendeels van verf en kleurstof werden ontdaan. Een vlekkerig, onregelmatig en als "echt" aandoend effect, mede te danken aan de lichtgrijze onderkleur van de tweecomponenten-plastic, was hiervan het resultaat.

Dit onregelmatige aspect kon plaatselijk nog versterkt worden door enkele dagen later, na het drogen, met een doek gedrenkt in een snel verdampend oplosmiddel, enkele plekken, met name de gewrichtsvlakken, wat op te halen.

## Montage en opstelling

De wervels met de aan het notarium gekitte ribben, borstbeen en schoudergordel en de aan het heiligbeen gekitte bekkengordel, werden in hun juiste stand en volgorde geschoven op een 5,5 mm dikke messing staaf die aan het achtereinde was afgesloten met een opgesoldeerd ringetje. Aan de vóorzijde bleef de messing staaf ongeveer 8 cm uitsteken buiten de voorste halswervel. Nadat de gehele wervelkolom in een S-bocht was gebogen, werd op het uitstekende deel van de messing staaf de schedel gemonteerd. Hiertoe was een gat van 6 mm door de schedel geboord, juist boven de achterhoofds-gewrichtsknobbels en uitkomend aan de binnenzijde van het schedeldak. In een iets naar links gebogen stand werd de schedel vastgezet door een blokje aan de binnenzijde op de messing staaf te schuiven en met een dwars in het blokje getapte schroefdraad en passend boutje te fixeren.

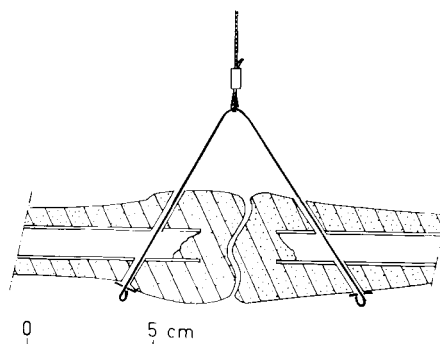
De opperarmbeenderen en de dijbeenderen, gegoten met een aan de kop uittrekkende, dikke koperdraad, werden in de gewrichtskommen van de schouder- en bekkengordel gemonteerd. Hiertoe werden in deze kommen kleine gaatjes geboord en de naar binnen stekende koperdraden vastgezet met een schroefklemmetje. Spaakbeen en ellepijp werden t.o.v. elkaar gefixeerd door beide beenstukken tweemaal dwars te doorboren en hierin een messing draad te steken die aan beide einden omgebogen werd. De handwortel werd zodanig doorboord, dat een hierin geplaatst messing staafje aan beide zijden bleef uitsteken en weer in een gaatje paste, enerzijds geboord in de lengterichting in de ellepijp, anderzijds geboord in de lengterichting in het middelhandsbeen van de vliegvinger. Tegen dit middelhandsbeen werden ook de drie veel dünnere middelhandsbeenderen van de drie kleine vingers met messing staafjes gefixeerd. Hierna werden alle gewrichtseinden van de langere, grotere elementen uit de vleugel dwars doorboord en wel van bovenaf schuin naar beneden.

Elke gewrichtsverbinding tussen twee beenstukken kon nu worden opgehangen door een omgekeerd V-vormig messing staafje in de twee gaatjes van de twee beenstukken te schuiven en aan de onderzijde om te buigen. Het kniegewricht in de achterpoten werd met een messing draad gefixeerd en op dezelfde wijze de voet aan het ondereinde van het scheenbeen verbonden. Voor de latere opstelling werd het ondereinde van het scheenbeen nogmaals doorboord en voorzien van een messing oogje.

Voor de opstelling van de skelet-reconstructie werd een geschikte plaats in de hal op de eerste verdieping van het museum gekozen. De hier beschikbare hoogte, zodanig dat de reconstructie buiten handbereik zou blijven, veroorloofde een opstelling, hangend via dunne staalraadjes aan oogjes in het plafond, in dalende glijvlucht, 12<sup>o</sup> gekanteld om de lengte-as.

In een tekening op een vel papier van zes meter lengte werden eerst alle been-elementen op ware schaal getekend, in de stand voor een horizontale vlucht, zoals aangegeven door Bramwell & Whitfield (1974, afb. 23 a en c). Daar in een gekantelde stand de beenderen van de vleugels van bovenaf, in verticale richting dus, enigszins verkort worden gezien, werd deze verkorting per beenstuk uitge-

afb. 15. De ophanging van het gewricht tussen middelhandsbeen en 1e koot van de r. vliegvinger.



rekend en op de tekening aangegeven. Ophangpunten hierbij waren: één punt van het notarium precies waar de twee schouderbladen samenkomen, één punt direct achter de schedel, twee punten van de enkel-gewrichten in de achterpoten en verder zes punten per vleugel, n.l. het ellebooggewricht, de handwortel, de knokkel tussen middelhand en vliegvinger en de drie gewrichtspunten tussen de vier kootjes van de vliegvinger. De afstand van elk van deze zestien ophangpunten tot het plafond werd reeds van te voren berekend en dunne staaldraden aan de ophangpunten met klemmschroefjes bevestigd. Bij de uiteindelijke opstelling in het museum werd de tekening op de grond vastgezet met plakband waarna de aangegeven ophangpunten met een schietlood op het plafond werden overgebracht.

Romp met schedel en achterpoten kon in één keer aan de daartoe bestemde, in het plafond aangebrachte oogjes worden opgehangen. De vleugels werden in onderdelen op hun juiste plaats gehangen. De gewrichten van de kootjes der vliegvingers bleken later, na het ophangen dus, te moeten worden vastgezet door pennetjes dwars door het gewricht te boren.

In een kleurenplaat aan de wand heeft de auteur getracht vast te leggen hoe naar zijn inzicht *Santanadactylus* over het water zweefde langs een rotsachtige kust met daarvoor ondiepe riffen tijdens het Krijt in Noordoost-Brazilië (pag.37). De boven de bezoeker hangende skeletreconstructie geeft daarbij een indruk van de afmetingen van dit vliegende "monster"!

**Het Geologisch Museum** van de Universiteit van Amsterdam is gevestigd aan de Nieuwe Prinsengracht 130 en is voor het publiek alle woensdag middagen van 2 - 5 geopend. Na aanvraag is bezoek ook mogelijk op de andere werkdagen tussen 9 en 5 uur.

## Literatuur-referenties

Arthaber, G.V., Ueber Entwicklung, Ausbildung und Absterben der Flugsaurier. *Paläont. Z.*, 4, (1), 1-47 (1922).  
Bramwell, C.D. & Whitfield, G.R. Biomechanics of *Pteranodon*. *Phil. Trans. Roy. Soc. London (B)*, 267, 503-581 (1974).  
Buissonjé, P.H. de, *Santanadactylus brasiliensis* nov. gen., nov. sp., a long-necked, large pterosaur from the Aptian of Brasil. *Kon. Ned. Ak. Wet., Proc.*, B, 83, (2), 145-172 (1980).  
Eaton, C.F., Osteology of *Pteranodon*. *Mem. Connecticut Acad. Arts Sci.*, 2, 38, NewsHaven (1910).  
Molnar, R.E. & Thulborn, R.A., First Pterosaur from Australia. *Nature*, Vol, 288, 361-363 (1980).  
Owen, R., Monograph on the Fossil Reptilia of the Cretaceous Formations, Suppl. I Pterosauria (*Pterodactylus*) *Monogr. Palaeont. Soc.*, p. 1-19, London (1859).

Owen, R., Monograph on the Fossil Reptilia of the Cretaceous Formations, Suppl. III Pterosauria (*Pterodactylus*) *Monogr. Palaeont. Soc.*, p. 1-19, London (1861).  
Owen, R., Monograph of the Fossil Reptilia of the Mesozoic Formations I. Pterosauria. *Monogr. Palaeont. Soc.*, p. 1-14, London (1873).  
Romer, A.S., De Gewervelde Dieren. Bewerkt door Dr. P.J. Kipp. Uitg. Het Spectrum N.V. (1971).  
Seeley, H.G., The Ornithosauria: an elementary study of the bones of Pterodactyles. 135 pp. Cambridge (1879).  
Wellnhofer, P., Die Pterodactyloidea (Pterosauria) der Oberjura-Plattenkalke Süddeutschlands. *Abh. Bayer. Akad. Wiss., N.F.*, 141, 1-133, München (1970).  
Wellnhofer, P., Pterosauria. *Handbuch der Paläoherpetologie* 19, 1-82 (1978).  
Williston, S.W., On the osteology of *Nyctosaurus* (*Nyctodactylus*) with notes on American Pterosaurs, *Publ. Field Columb. Mus. Nat. Hist.* 78, Geol. Ser., 2, 3, 125-163 (1903).

---

# CHEMISCHE FORMULES:

## hulpmiddel, geen toverspreuken III

door drs. W.R. Moorer

### IJZER

Onze aarde bestaat voor 35% uit ijzer. Toch is het belangrijkste ijzerprodukt: staal, nog knap duur. Als het eerste waar is, is het tweede op z'n minst gezegd nogal bevreemdend. We zullen zien hoe we deze ogenschijnlijke tegenspraak kunnen verklaren en op welke wijze formules ons daarbij kunnen helpen.

#### IJzer, zeldzaam of niet?

Op het eerste gezicht een overbodige vraag die met nee beantwoord kan worden door te verwijzen naar bovengenoemde 35%. En naar allerlei staalconstructies, om maar niet van onze fietsen en auto's te spreken: we zitten temidden van, en bovenop het ijzer! Beschouwen we de zaak wat breder dan komen we tot het besef dat het meeste ijzer op een voor ons onbereikbare plaats huist: in de aardkern. De aardkorst bevat "slechts" 5% ijzer, zoals u in b.v. onze tabel I (Gea 1980, vol. 13 nr.2) kunt zien. Bedenk dat de gewichtsprocenten van die tabel I inderdaad alle betrekking hebben op de aardkorst, de bovenste paar kilometer van onze aarde dus. Aardkern en aardmantel zijn voor ons onbereikbaar. Maar goed, 5% van de aardkorst is nogal wat. IJzer (Fe) is het vierde element in volgorde van voorkomen, zodat het dus bepaald niet zeldzaam is, maar integendeel algemeen optreedt. Toch kunt u, als u een goed mineralenboek bezit, met de hand op het hart volhouden, dat ijzer zeer zeldzaam is: behalve het voorkomen als superkleine vlokjes in sommige bijzondere, ultrabasische, gesteenten zijn er eigenlijk maar twee echte vindplaatsen van ijzer: Ovifak en Disko, Groenland en - dichter bij huis - Bühl bij Weimar, Duitsland. Daar alleen vindt men **ijzer-als-zodanig** ofwel **gedegen ijzer**. Daar komt ijzer voor als element, niet als

erts of als verbinding en het is als zodanig veel zeldzamer dan goud.

Behalve van dit "aardse" ijzer van de aardkorst weten we natuurlijk nog van het bestaan van meteorieten: stukjes hemellichaam die lijken overeen te komen met de samenstelling van o.a. onze aardkern.

Maar zelfs als we al het meteoritisch ijzer meerekenen en optellen bij het aardse ijzer komen we nog tot de conclusie dat ijzer-als-zodanig, gedegen ijzer, vrij ijzer of hoe je het ook noemen wilt een zéér zeldzame verschijning genoemd kan worden. Van al het beschikbare gedegen ijzer is nauwelijks één brug te bouwen!

#### Bruggen bouwen via hematiet

We hebben gezien dat gedegen ijzer, ijzer als "vrij" metaal dus, zeer zeldzaam is en dan ook als zodanig door de verzamelaar wordt gewaardeerd. IJzermeteorieten zijn duur en maar mondjesmaat in de handel. Voor een echt stukje aards ijzer van Groenland of Bühl betaal je (als het al wordt aangeboden) zo'n beetje de huidige goudprijs. Willen we bruggen bouwen of auto's maken dan hebben we dus niet genoeg aan het vrije ijzer, maar zoeken we naar **gebonden** ijzer. IJzermijnbouwers vinden we niet in Bühl of Ovifak, en ook staan ze de meteorieten niet uit het heelal te kijken, maar we vinden ze bij plaatselijke opeenhopingen van gebonden ijzer in de aardkorst. Daar waar het ijzer als ijzererts optreedt. Over ijzerertsen, hun voorkomen en paragenese vindt u elders in dit Geanummer meer informatie. Wij houden ons nu bezig met de samenstelling van ijzerertsen.

U weet dat de **samenstelling** van mineralen door hun **formule** wordt beschreven. We zoeken de formules van de meest gebruikte ijzerertsen op in een mineralenboek en rekenen meteen even het ijzerpercentage uit.