

Skeletonderdelen van zeevogels (1): Sternum

PARTS OF SEABIRD SKELETONS (1): STERNUM

Edward Soldaat

Dit is het eerste artikel uit een voorgenomen serie over de functionele morfologie van het zeevogelskelet die in *Sula* gepubliceerd zal worden. Een typisch zeevogelskelet bestaat niet, omdat de verschillende soorten zeevogels uiteenlopende levensstijlen hebben die alle hun eigen eisen stellen aan de bouw van het skelet. Aan de hand van foto's zal worden ingegaan op kenmerken van verschillende botten of samenhangende groepen botten en hun functionele betekenis. De artikelen gaan in op de leefstijlaspecten die de vorm bepalen, en vloeien voort uit (literatuur)onderzoek naar de functionele kenmerken van zeevogelskeletten. Dit vormt tegelijkertijd de basis voor toelichtende teksten op mijn website www.seabird-osteology.info.



Figuur 1. Borstbeen van een Zeekoet *Sternum of a Common Guillemot*

Borstbeen of sternum

Het borstbeen of sternum is een van de grootste botten van het vogelskelet. Het bestaat uit een holle/bolle plaat en de kiel (*carina*) die daar haaks op staat en aan de buikzijde 'uitsteekt' (Fig. 1). De vorm van het borstbeen is sterk afhankelijk van de leefgewoonten

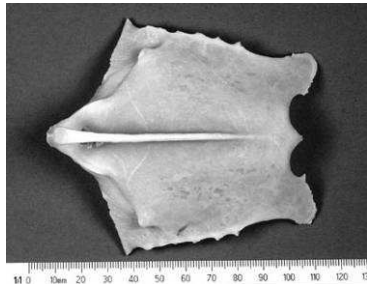
van de vogel. Het borstbeen is de basis voor twee belangrijke vliegspieren: *musculus supracoracoideus* voor de opgaande slag en *m. pectoralis major* voor de neerwaartse slag. De laatste is, zoals de naam al suggereert, de grootste en de sterkste. Afhankelijk van het vlieg- en duikgedrag van de soort bestaan er echter aanmerkelijke verschillen in bouw en omvang. De grote borstspier ligt over de kleine heen en samen vullen ze de driehoekige ruimte op tussen de basale plaat en de uiterste rand van de kiel.

Naast de vliegwijze bepaalt een complex van factoren de vorm van het borstbeen, zoals de belasting als gevolg van de foerageerstrategie: type voedsel, grootte en gedrag van de prooidieren en welke vaardigheden het vergt om deze te pakken. Een vogel die zijn vleugels ook onder water gebruikt stelt daar andere eisen aan, dan een soort die ze alleen boven water gebruikt om te vliegen. Ook klimatologische omstandigheden spelen een belangrijke rol. In tropische windstiltes heeft een vogel een andere vliegtechniek nodig dan in stormachtige wateren. Daarnaast spelen aero- en aquadynamica en de zwaartekracht een rol. Deze factoren leiden tot een aanzienlijke variatie in de bouw van het borstbeen.

Bij soorten die met langzame en ondiepe slag of veelal in zweefvlucht vliegen, is het borstbeen in het algemeen kort en voorzien van een relatief kleine kiel. Voor dit vlieggedrag voldoen korte borstspieren die vooral geschikt zijn voor statische krachten. Het borstbeen neemt in oppervlak (plaat en/of kiel) en lengte toe bij soorten met een hoge vleugelbelasting (*wing load*; massa/cm² vleugeloppervlak), die met kleine vleugels en een snelle vleugelslag vliegen of duiken, zoals alkachtigen Alcidae. Zij hebben lange spieren nodig, zowel voor de diepe vleugelslagen als voor de kracht die dit vergt. Het belang van een goede stroomlijn komt tot uitdrukking in de lange smalle vorm.

Naarmate een soort groter is, heeft het borstbeen vaak luchtholtes. Zonder verlies van sterkte wordt zo de *wing load* verminderd. Duikende vogels hebben geen luchtholtes, omdat massieve botten het duikvermogen gunstig beïnvloeden. Bij veel duikende soorten is de basale plaat van het borstbeen verlengd en voorzien van meer of minder diepe inkepingen. Deze vormen een frame voor een membraan dat, met de grote basale plaat, de ingewanden tijdens het duiken beschermt tegen de waterdruk.

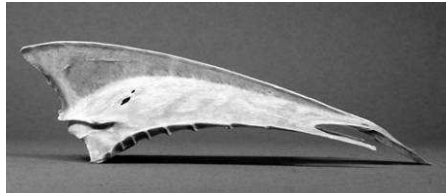
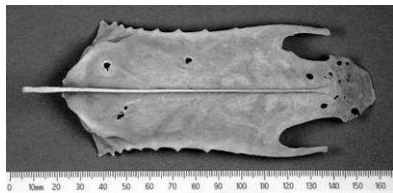
Albatrossen Diomedidae bevinden zich aan de ene zijde van het spectrum, alkachtigen, pinguïns Spheniscidae en duikers Gaviidae aan het andere einde (Fig. 2). Alle aan meeuwen verwante soorten bevinden zich ergens in het midden van deze schaal, Fregatvogels Fregatidae hebben lange smalle vleugels, waarmee ze goed kunnen



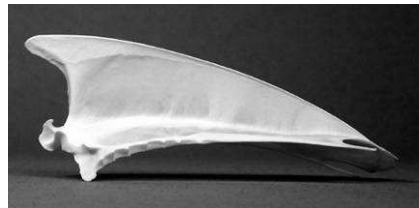
Zwartvoetalbatros *Black-footed Albatross* *Phoebastria nigripes*



Grote Fregatvogel *Great Frigatebird* *Fregata magnificens* (Coll. ZMA)



Roodkeelduiker *Red-throated Diver* *Gavia stellata*



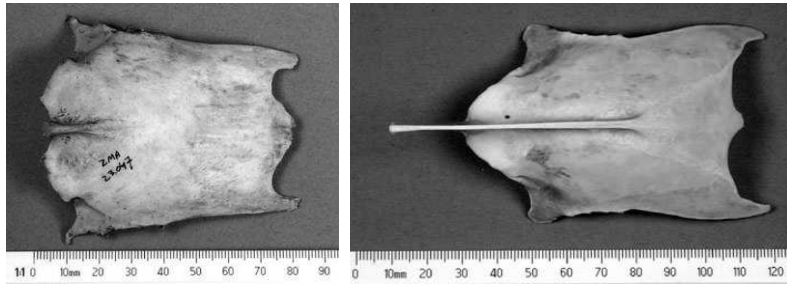
Alk *Razorbill* *Alca torda*

Figuur 2. Kenmerkende borstbenen *Characteristic examples of a sternum*

zweven, maar ook snel kunnen wenden en een achtervolging kunnen inzetten. Zij hebben een bijzonder borstbeen, met veel holtes, waarbij ravenbeksbeenderen en het vorkbeen deels met elkaar zijn

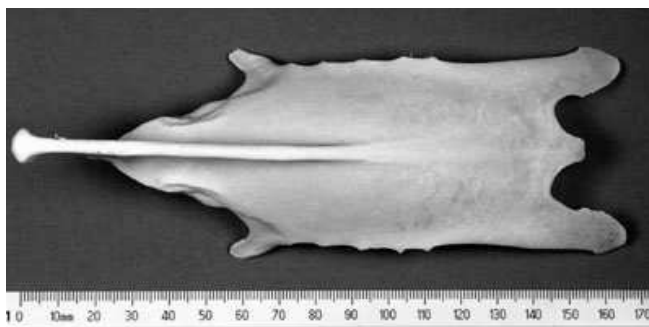
vergroeid. Dit vormt een sterke basis voor de extreem grote vliegspieren. Vergroeiing van het borstbeen met het vorkbeen komt ook voor bij pelikanen Pelecanoidae en duikstormvogeltjes Pelecanoides spp.

De niet-vliegende, pootaangedreven Galapagos Aalscholver *Phalacrocorax harrissi* (Fig. 3) heeft een vrijwel kielloos borstbeen en bijna rudimentaire vliegspieren, omdat die niet meer nodig zijn. Pinguïns 'vliegen' onder water en duiken diep. Zij hebben daarom een lang borstbeen met een flinke kiel.



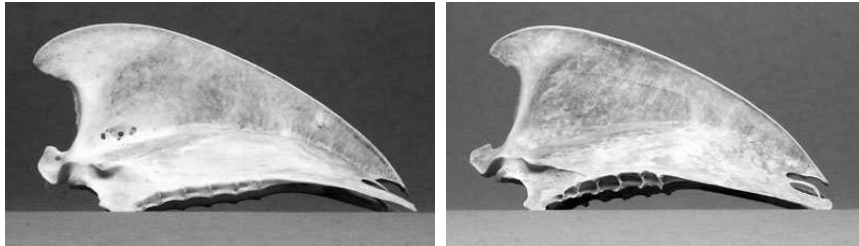
Figuur 3. Galapagos Aalscholver *Galapagos Cormorant* *Phalacrocorax harrissi* (Coll. ZMA) en Grote Aalscholver *Great Cormorant* *Phalacrocorax carbo*

Jan-van-Genten Sulidae bedienen zich van ondiepe vleugelslagen en zweefvlucht. Bij het vangen van hun prooi gebruiken ze de zwaartekracht voor het verkrijgen van een hoge aanvalssnelheid; ze storten zich als een speer in het water. Onder water worden de vleugels alleen gedurende een korte achtervolging gebruikt. Hun torpedovormige lichaam biedt slechts plaats aan een langwerpig, vrij smal borstbeen (Fig 4.), dat relatief weinig ruimte laat voor grote vliegspieren.

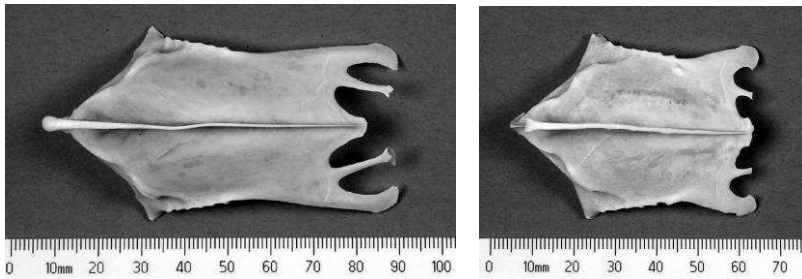


Figuur 4. Jan-van-Gent *Northern Gannet* *Morus bassanus*.

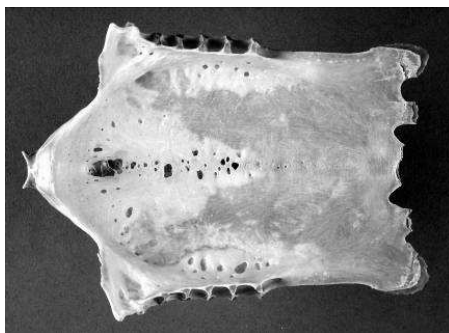
Jagers Stercoraridae en meeuwen Laridae (Fig. 5) hebben borstbeneden die oppervlakkig gezien van hetzelfde type zijn. Bij de jagers zijn de borstbeneden verhoudingsgewijs echter aanzienlijk groter, omdat ze de basis vormen voor sterke vliegspieren waarmee ze sneller moeten zijn dan hun slachtoffers.



Figuur 5. Middelste Jager *Pomarine Skua* *Stercorarius pomarinus* en Zilvermeeuw *Herring Gull* *Larus argentatus*



Figuur 6. Grauwe Pijlstormvogel *Sooty Shearwater* *Puffinus griseus* Getrepte Pijlstormvogel *Streaked Shearwater* *Calonectris leucomelas*



Figuur 7. Zuidelijke Reuzenstormvogel *Macronectes giganteus*. Binnenzijde borstbeen. Luchtholtes bevinden zich in het middengedeelte en aan de zijkanten. Inside of the breastbone. *Southern Giant Petrel* The air sacks are located in the middle and along the edges.

Bij de stormvogelachtigen, de pijlstormvogels in het bijzonder, is de complete range van aanpassingen in zekere mate aan te treffen. De Grauwe Pijlstormvogel *Puffinus griseus* (Fig. 6), een van de diepst duikende stormvogels, heeft een vrij lang borstbeen met diepe inkepingen voor een membraan, een forse kiel en geen luchtholtes. De Grote Pijlstormvogel *Puffinus gravis* duikt minder diep en zweeft meer en heeft daarom een korter borstbeen met enkele luchtholtes. De grotere Gestreepte Pijlstormvogel *Calonectris leucomelas* (Fig. 6) is met zijn lange vleugels een echte zweefvlieger en duikt weinig en ondiep. Deze soort heeft dan ook een kort borstbeen met meer luchtholtes. De borstbenen van albatrossen en Reuzenstormvogels *Macronectes* (Fig. 7) zijn royaal voorzien van luchtholtes.

De vormen van borstbenen van (zee-)vogels zijn goed beschouwd altijd het resultaat van een compromis tussen de verschillende factoren die de leefstijl bepalen. Dit compromis bepaalt ook de beperkingen. Een albatros zal nooit een diepe achtervolgingsduik kunnen maken en een Zeekoet zal hooguit enkele meters in zweefvlucht kunnen zijn.

Dankwoord en verantwoording

Dank aan Lex van Groningen en de redactie voor het meelezen en commentaar. Aan Tineke Prins en Kees Rooselaar (Zoologisch Museum Amsterdam) voor de gelegenheid tot het nemen van fotos van skeletmateriaal. De overige afgebeelde skeletdelen bevinden zich in mijn privé-collectie onder vergunning van het Min. Landbouw en Visserij.

Summary

The breastbone of a bird comprises a convex/concave basal plate and a perpendicular keel ventrally. The shape of the breastbone is related to the species' lifestyle. Foraging strategy, aero- and aquadynamics and gravity play important roles. Species with soaring flight and a low wing load generally have a short breastbone with a rather low keel and small pectoral muscles. When the wing load increases, and wingbeats become deeper and flight is combined with wing-propelled diving, breastbones are larger. In diving species, the breastbone is longer to protect the intestines from high water pressure. In wing-propelled divers the keel is considerably larger than in foot-propelled species. Larger species, that have advantage of a low wing load, mostly have pneumatic cavities in the breastbone. The true divers have solid bones to reduce buoyancy. The shape of the breastbone is a compromise between determining factors and shows considerable variation.

Referenties

Johnsgard P.A. 1987. Diving birds of North America, Nebraska Univ. Press, USA.

Johnsgard P.A. 1993. Cormorants, darters and pelicans of the world, Smithsonian Inst. Press, Washinton, USA.

Kaiser G.W. 2007. The inner bird. Anatomy and evolution. UBC Press, Vancouver, Canada

Kuroda N. 1954. On the classification and phylogeny of the order Tubinares, particularly the shearwaters (Puffinus). PhD thesis.

Adresgegevens auteur:

Edward Soldaat

Margrietstraat 5, 9491 BE Zeijen, edward@shearwater.nl