

Vogels vliegen. Dat stelt min of meer tegenstrijdige eisen aan het skelet. Het moet zo licht mogelijk zijn, anders komt de vogel niet eens van de grond. Toch moet het extreem sterk zijn om de er op uitgeoefende krachten te kunnen opvangen. Met name het rompskelet geeft de vogel voldoende stevigheid.

Jan K. Nijhof

Een vliegende kokerbalk

Gewervelde dieren (vissen, amfibieën, reptielen, vogels, zoogdieren) hebben in hun lichaam botten. Dat geeft ze een grotere stevigheid dan bijvoorbeeld kwallen of slakken. Bovendien worden de kwetsbare inwendige organen er door beschermd. Die beenderen dienen ook als aanhechtingsplaats voor spieren. Zouden die nergens aan vast zitten dan was het enige effect van een spiersamentrekking het dikker worden van die spier zelf. Nu zijn ze in staat een beweging te veroorzaken. Dat is de reden waarom botten en spieren juist ook in en bij de vinnen, poten en vleugels zitten. Die dienen immers voor de voortbeweging en moeten dus worden aangedreven.

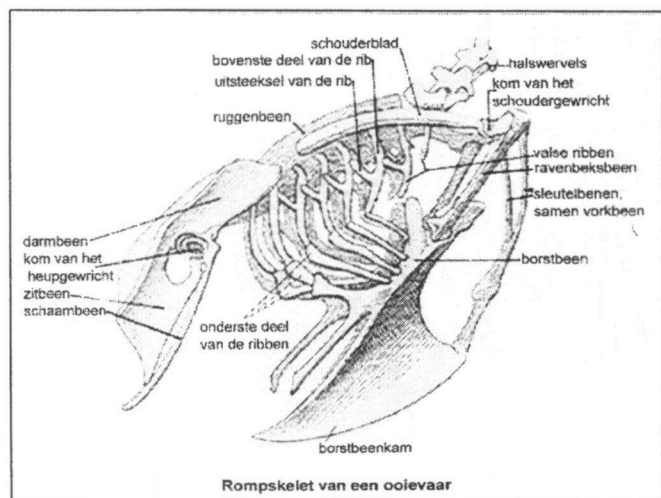
Vogels vliegen, op een paar uitzonderingen na. Om dat mogelijk te maken zijn hun voorpoten veranderd in vleugels. Die vleugels zijn totaal ongeschikt voor alles waarvoor andere dieren hun voorpoten gebruiken. Dat betekent dat voor zitten en lopen bijvoorbeeld alleen de achterpoten beschikbaar zijn. Voor vliegen is flink wat kracht nodig. Dat vereist sterke vliegspieren. Deze zitten vast aan het borstbeen, wat deel uitmaakt van het rompskelet. Alle krachten worden uiteindelijk door dat rompskelet opgevangen. Het moet dus uiterst stevig zijn anders wordt de vogel al bij de eerste de beste vleugelslag in elkaar gedrukt. Bij zitten en lopen rust het hele gewicht van de vogel op de

(achter-)poten en dus via het heupgewricht op het bekken. Dit deel van het geraamte moet dus voldoende stevig zijn om te voorkomen dat de vogel door zijn poten zakt.

Maar daarmee zijn we er nog niet. Zelfs de grootste krachtpatser onder ons, met de mooist geconstrueerde vleugels, kan niet vliegen. We zijn domweg te zwaar. Vliegende vogels moeten dus hun gewicht verminderen. Dat houdt in dat ook het geraamte zo licht mogelijk moet zijn. Dus hebben vogels minder botten dan andere gewervelde dieren. De botten die overblijven zijn vaak (verregaand) versmolten. Bovendien hebben veel beenderen holten of vensters, zelfs platte botjes zoals die van de schedel. Die holten bevatten geen merg, zoals bij onze beenderen, maar lucht. Ze zijn zogenaamd pneumatisch. Vaak bevatten ze luchtzakken die in verbinding met de longen staan en een rol bij de ademhaling spelen. Die holten schaden de stevigheid niet en brengen het gewicht aanzienlijk terug. Een buis is immers ook

lichter dan een staaf van dezelfde sterkte. Op plaatsen waar grote krachten worden uitgeoefend zitten binnenin de botjes diagonale tussenschotjes. Ongeveer op de manier zoals de vleugels van een vliegtuig van binnen geschoord worden. Het resultaat is onvoorstelbaar: normaal wegen de gezamenlijke veren van een vogel meer dan zijn botten! Het geraamte van de Amerikaanse Zeearend bijvoorbeeld weegt 272 g, zijn totale verenpak echter 700 g.

Vogels bezitten drie tot tien, maar meestal vijf à acht, borstwervels. Borstwervels zijn die wervels die aan weerskanten een rib dragen. Bij vogels zijn ze weinig beweeglijk met elkaar verbonden. Vaak zijn er zelfs een aantal met elkaar vergroeid tot het ruggenbeen (futen, kraanvogels, duiven). In ieder geval zijn de laatste borstwervels vergroeid met de lendenwervels



(de wervels ter hoogte van uw middel), met de twee heiligbeenwervels (die op heuphoogte) en die weer met een aantal staartwervels. Samen vormen zij het vals heiligbeen, bestaande uit zo'n 10 - 23 vergroeide wervels. 'Vals' omdat het niet alleen uit heiligbeenwervels bestaat, zoals ons (echte) heiligbeen. Dit bot is op de tekening niet te zien omdat het achter het darmbeen zit. Hierop volgen vijf à zeven onvergroeide, zelfs flexibel verbonden staartwervels. Zij maken beweging van de staart mogelijk. De laatste vijf of zes staartwervels zijn weer onderling versmolten tot één botje, het stuitbeen. Dit draagt de staartpennen. Het rompgedeelte van de vogelruggengraat is dus eerder stijf en sterk, dan soepel en buigzaam. Dit komt nog sterker tot uiting doordat het relatief kort is. Door een zo compact mogelijke bouw ligt het zwaartepunt dicht bij de vleugels. Dat maakt het vliegen een stuk makkelijker. Als wij, met ons gewicht en onze rechtopgaande gang, zo'n ruggengraat hadden, dan zou dat niet best zijn. Bij een sprong van enige hoogte zou hij zonder meer in onze hersenpan doordringen en dat is dan einde verhaal. Vogels zijn, doordat zij op twee poten lopen, gedwongen hun romp meer rechtop te houden dan viervoeters. Maar het zal u nu duidelijk zijn waarom zij niet, zoals wij, helemaal rechtop lopen, zoals wij. (Er zijn nog andere redenen).

De borstkas

Aan elke borstwervel zit aan weerskanten een slanke, massieve staaf beweeglijk verbonden: de rib. Die bestaat uit twee delen, verbonden door een gewricht. Zij vormen samen een naar achteren wijzende hoek. Het andere einde van de rib zit beweeglijk vast aan het borstbeen. Het bovenste deel heeft

een naar achteren gericht uitsteeksel dat zich op de volgende rib legt, wat extra stevigheid geeft. Deze uitsteeksels komen alleen bij vogels voor. Het borstbeen is een groot schild (eventueel met uitsteeksels, zie tekening) met, bij vliegende vogels, aan de buikzijde een enorme overlangse kam. Die fungeert als aanhechtingsvlak voor de vliegspieren. Hoe beter vlieger, hoe groter kam. Vleermuizen, mollen (graven) en pinguïns (die niet vliegen, maar met behulp van hun vleugels zwemmen) hebben ook zo'n kam. Het borstbeen is zo sterk en steekt zo ver naar achter dat het onbeschermde, dus kwetsbare, deel van het onderlijf minimaal is. De borstkas in zijn geheel mag dan zeer stevig zijn, de verschillende flexibele verbindingen maken echter wel beweging mogelijk. De borst kan plat worden of juist weer boller. Dat werkt als een blaasbalg en speelt een rol bij de ademhaling. Ruggelings tegen de ribben aan liggen de sabelvormige schouderbladen, er aan verbonden door spieren en pezen. Zij geven zo stevige steun aan het schoudergewricht, zonder de opwaartse beweging van de vleugel te hinderen. Tussen het schoudergewricht en het borstbeen zitten een paar brede, krachtige steunpilaren: de ravebeksbeenderen. Zij verhinderen dat de vanaf het borstbeen aan de vleugel trekkende vliegspieren het schoudergewricht verplaatsen. Zij zijn door middel van een gewricht aan het borstbeen verbonden. Bij ons zijn deze botten verworpen tot een uitsteeksel aan het schouderblad. De ravebeksbenen vormen samen met het schouderblad de kom van het schoudergewricht. In de buurt van dit gewricht zijn de einden van de sleutelbeenderen

stevig met de ravebeksbeenderen verbonden. Die sleutelbenen lopen naar beneden en zijn aan het ondereind met elkaar vergroeid en vormen zo samen een vork, vandaar de naam vorkbeen. De punt van de vork is op een of andere manier met het borstbeen verbonden, soms ermee vergroeid. Bij ons zitten de sleutelbeenderen stevig tussen het schoudergewricht en het borstbeen en houden zo de schouders uit elkaar.

Het bekken

Bij vogels is dit relatief groter dan bij alle andere gewervelden, van hieruit moet immers de hele romp gedragen worden. De twee darmbenen zijn naar verhouding zelfs reusachtig en steken tot in het gebied van de borstwervels naar voren. Ze zijn vergroeid met het vals heiligbeen, waar we het al eerder over gehad hebben. Vanaf de kom van het heupgewricht lopen de vlakke zitbenen naar achteren, zij zijn vergroeid met de darmbenen. Vrijwel tegen de zitbenen aan liggen de lange, slanke schaambenen, alleen de kop is vergroeid met de rest van het bekken. Bij ons vormt het bekken van boven (of van onder) gezien een gesloten ring. Zit- en schaambeen van links en rechts raken elkaar in het midden aan de buikzijde en vergroeien daar. Dit gebeurt op een enkele uitzondering na (loopvogels), niet bij vogels. Zij hebben een open bekken. Dit houdt waarschijnlijk verband met het leggen van de relatief grote, stijve en fragiele eieren.

Het totale rompskelet vormt een lichtgewicht-, stijve, sterke doos, waarin de inwendige organen veilig zijn opgeborgen. Er mee verbonden zijn de hals met de kop en de ledematen: vleugels en poten. Het geheel vormt eigenlijk een soort kokerbalk. Met vleugels.