

Anatomie & Morfologie

Tekst Wietse Bruinsma

Vleugels: meer dan vliegen alleen

We kwamen de vleugels al tegen in de aflevering over het borststuk (zie *Bijenhouden* 2020-6). In deze aflevering gaan we dieper in op hun structuur en beweging.

Vleugels zijn essentieel voor de bij. Haar hele levenswijze hangt ervan af, niet alleen om voedsel of nieuwe woonruimte te zoeken, maar ook om het klimaat in de kast op peil te houden, te ventileren, nectar in te dampen en geurstoffen te verspreiden zodat haar soortgenoten de kast weer terug kunnen vinden: ze stertselen. In haar hele leven legt een werkster wel zo'n 800 kilometer af. Daarna is er van de vleugels meestal weinig meer over dan wat rafels, waardoor ze ten slotte niet of nauwelijks meer kan vliegen en ergens binnen of buiten de kast sterft.

Ontstaan

Vleugels verschenen in de evolutie bij veel verschillende diergroepen. Bij zoogdieren, reptielen en vogels zijn de vleugels gemodificeerde voorpoten, ofwel bedekt met veren (bij vogels), ofwel met huidplooiën (bij zoogdieren en reptielen). Mogelijk is het vliegvermogen geleidelijk ontstaan uit mechanismen die een zweefvlucht mogelijk maakten. Alleen bij de insecten is dit anders gegaan. De vleugels zijn niet afgeleid van primitieve aanhangsels van segmenten, zoals bij veel andere lichaamsdelen die we in deze reeks artikelen al tegengekomen zijn. Ze zijn pas veel later in de evolutie ontstaan, als aanpassing aan het leven op het land. In feite zijn de insectenvleugels niets anders dan plooiën van het

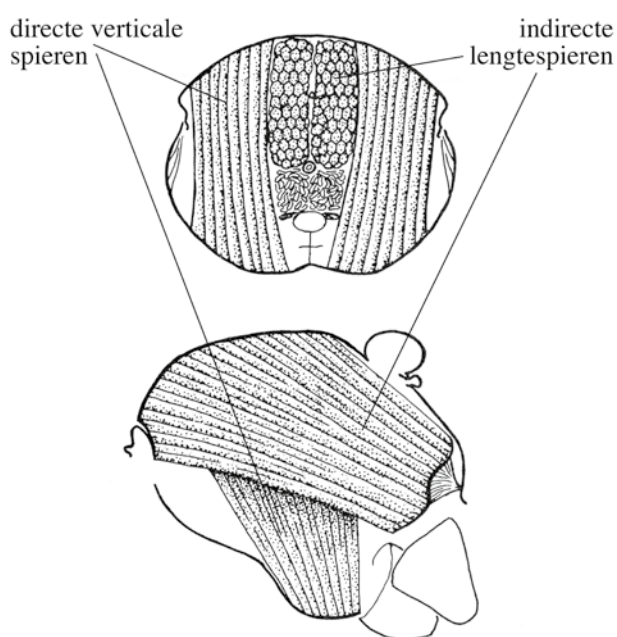
integument van de middelste en achterste rugplaat van het borststuk (zie aflevering 2 in deze serie over de lichaamswand en de spieren – *Bijenhouden* 2020-2). Het voordeel van deze aanpassing is dat de insecten zo al hun poten voor andere doeleinden behielden.

Ontwikkeling

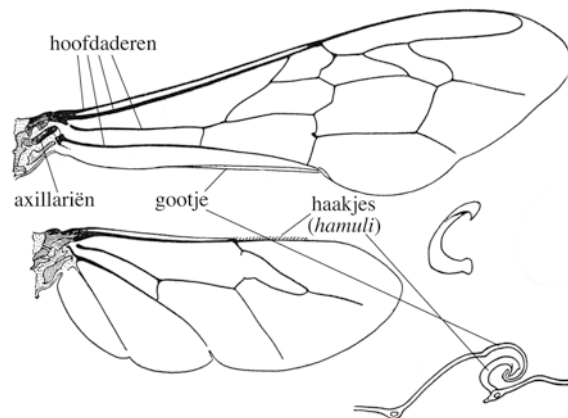
Bij insecten met een volledige gedaanteverwisseling, zoals de honingbij, wordt de ontwikkeling van de vleugels pas laat zichtbaar, namelijk bij de laatste larvale vervelling. In de prepofase (zie de aflevering 'Van larve tot volwassen bij: de metamorfose' in *Bijenhouden* 2020-3) groeien de vleugels – tot dan toe slechts langgerekte flapjes – uit het borststuk tevoorschijn, dooraderd met buisjes voor luchttransport, die we in een latere aflevering nog zullen tegenkomen. Deze buisjes veranderen, wanneer de vleugels hun uiteindelijke vorm krijgen, door verharding (sclerotisering) in wat we de vleugeladeren noemen. Die geven de vleugels, die verder slechts uit een dun membraan bestaan, hun stijfheid. Bij het uitkomen van het volwassen insect wordt lucht door die aderen gepompt waardoor de vleugels op vorm worden gebracht. Het patroon van de aderen – positionering, lengte, hoeken tussen de aderen – speelt een grote rol bij de bepaling van de verschillende ondersoorten van de honingbij. Daar gaan we in deze reeks niet verder op in, want dat is op andere plekken al uitvoerig beschreven.

Uitwendige en inwendige structuur

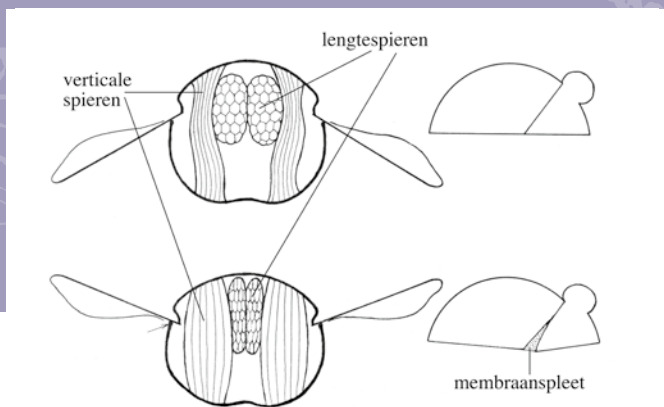
Aan de basis van de vleugels zit een heel ingewikkeld systeem van gesclerotiseerde plaatjes (axillariën) die, aangedreven door verschillende spieren, de vleugels kunnen laten bewegen



Figuur 1. Directe en indirecte vliegspieren (dwarsdoorsnede en lengtedoorsnede van het borststuk). Met toestemming overgenomen uit Dade, 1977. *Anatomy and dissection of the honeybee*. International Bee Research Association.



Figuur 2. Voor- en achtervleugel dar. Rechts de koppeling tussen voor- en achtervleugel: een haakje en de goot waar het haakje in grijpt. Met toestemming overgenomen uit Snodgrass, 1956. *Anatomy of the honey bee*. Comstock Publishing Associates.



Figuur 3. Werking van directe en indirecte vliegspieren. Boven: lengtespieren samengetrokken, verticale spieren ontspannen, bovenkant borststuk bol en vleugels naar beneden. Onder: het tegenovergestelde. Met toestemming overgenomen uit Dade, 1977. *Anatomy and dissection of the honeybee*. International Bee Research Association.

in verschillende richtingen; niet alleen op en neer, maar ook van voren naar achteren. De combinatie van deze bewegingen maakt ook het kantelen van de vleugels mogelijk.

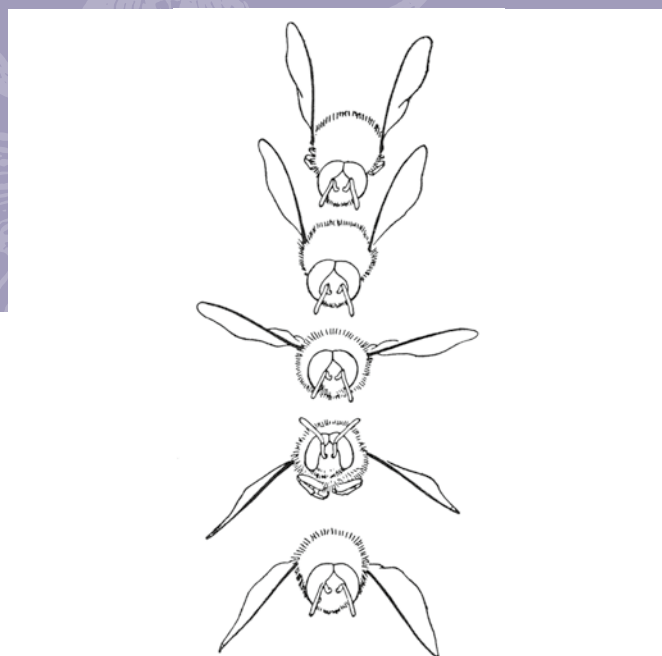
De vliegspieren kwamen al even voorbij in het artikel over de lichaamswand en de spieren (zie *Bijenhouden* 2020-2). We vermeldden toen dat er directe en indirecte vliegspieren zijn. Bij primitieve insecten, zoals kakkerlakken en libellen, zijn de spieren direct vastgemaakt aan de vleugelbases en verrichten ze alle samentrekkingen die nodig zijn voor de vliegbeweging. Bij de hogere insecten, zoals de honingbij, doen deze directe spieren maar beperkt mee aan de vliegbeweging. De kracht benodigd voor het op en neer gaan van de vleugels komt bij deze insecten vooral van de beweging van de indirecte spieren. Die zitten niet aan de vleugelbasis vast, maar aan de lichaamswand. Ze zorgen in feite voor een vervorming van het borststuk (figuur 1).

Het op-en-neer veren van het integument brengt de vleugels in beweging. Dit mechanisme werkt overigens alleen maar in op de voorvleugels, en niet op de achtervleugels. De voorvleugels zijn veel groter dan de achtervleugels. De achtervleugels bewegen mee met de voorvleugels met behulp van een rij haakjes (*hamuli*) aan de voorrand van de achtervleugel. Deze haakjes grijpen vast in een nauwe goot in de achterrand aan de voorvleugels (figuur 2). Als de vleugels in rust naar achteren over het achterlijf worden geplooid, worden voor- en achtervleugels van elkaar losgekoppeld. Bij het uitspreiden van de vleugels ter voorbereiding van de vlucht worden de voorvleugels over de achtervleugels getrokken, waarbij de haakjes weer vastgrijpen.

Bewegingen

Iedere entomoloog weet dat als je een speld door het borststuk van een dood insect prikt de vleugels omhooggaan. Dat komt doordat het verticaal samendrukken van het borststuk op de vleugelbases drukt. Dit prikken is vergelijkbaar met de werking van de verticale spieren in een levende bij. Daarentegen komt de neerwaartse slag voort uit een samentrekking van de lengtespieren, die zorgen voor samendrukking van de vleugeldragende plaat (figuur 3).

Alleen maar op en neer flappen zou niet genoeg zijn voor een voorwaartse beweging. De vleugels moeten ook een draaiing kunnen maken om opwaartse kracht te genereren. Er waren wat aanpassingen aan het borststuk nodig om die torsie te kunnen bereiken. Die aanpassing zit 'm in een ingewikkeld samenspel tussen al die sklerietplaatjes. Bij de



Figuur 4. Achtereenvolgende posities van vleugels van dar tijdens vlucht. Met toestemming overgenomen uit Snodgrass, 1956. *Anatomy of the honey bee*. Comstock Publishing Associates.

neerwaartse slag komt de voorkant van de vleugels naar beneden, en bij de opwaartse slag komt de achterkant van de vleugels naar beneden (figuur 4). De stuwing van de vleugels komt vooral voort uit die draaiing van de vleugels rond de vleugelassen, waardoor tijdens de vlucht een figuur 8 wordt gevormd, in de onderste lus met de klok mee, in de bovenste lus tegen de klok in. Insecten slaan zo telkens een lucht-werveling naar voren waar ze heel kort op blijven hangen. Door dit met een hoge frequentie te doen kunnen ze in de lucht blijven zweven of vooruitvliegen.

Bij de honingbij is de bovenkant van het borststuk heel bol en sterk verhard, waardoor de vleugeldragende platen niet zo makkelijk kunnen bewegen als bij primitievere insecten. Daarom is er een membraneuze spleet op het tweede borststuksegment ontstaan, die in directe verbinding staat met het vleugelmembraan. Hierdoor ontstaat er meer bewegingsvrijheid (figuur 3). De meeste kracht van de slag komt voort uit de samentrekking van de lengtespieren van de voorvleugels. Die zijn dan ook verreweg het dikst. Zoals vermeld, bewegen de achtervleugels passief mee. Het resultaat van al deze bewegingen is indrukwekkend: de vleugels slaan zo'n 200 tot 250 keer per seconde, en nog vaker bij hogere snelheden. Zo'n hoge frequentie valt niet meer via zenuwen aan te sturen, maar gebeurt automatisch: ontspanning van de indirecte vliegspieren aan de ene kant leidt tegelijkertijd tot samentrekking ervan aan de andere kant van de bij. Zenuwen spelen alleen een rol bij het starten of stoppen van de vliegbeweging. Behalve haar grote wendbaarheid kan de bij ook een snelheid van zo'n 30 km/uur halen, en voor korte periodes zelfs 40 km/uur. Dit heeft natuurlijk zijn prijs. Normaal bevat bijenbloed 2% suiker. Met minder dan 1% kan de bij niet meer vliegen en onder 0,5% nauwelijks meer bewegen. Een vliegende bij verbruikt vijftig keer zoveel energie als een bij in rust. Een volle maag houdt haar misschien 15 minuten in de lucht, waarna de tank wel zo'n beetje leeg is. Maar ze kan nog wat langer verder door even te rusten, onderweg wat te tanken en/of glycogeen, een keten van glucosemoleculen, die ligt opgeslagen in de spieren, om te zetten in suiker. Zo bereikt ze grotere afstanden. ●