

Anatomie & Morfologie

Tekst Wietse Bruinsma

Ins en outs van de ademhaling

Insecten halen heel anders adem dan zoogdieren. In plaats van via longen en bloed gebeurt het zuurstoftransport bij insecten door een systeem van ademhalingsbuizen, die door het hele lichaam vertakt zitten. Hierdoor wordt de zuurstof direct naar de verschillende weefsels gevoerd.

Ademhaling en bloedsomloop zijn gescheiden systemen bij insecten. Het bloed speelt bij insecten geen rol bij de ademhaling. Het gevolg hiervan is dat het grootste gedeelte van de lichaamsholte is gevuld met lucht en niet met bloed, waardoor het lichaamsgewicht relatief laag is. Hiermee wordt een grotere energie-efficiëntie bereikt bij de voortbeweging.

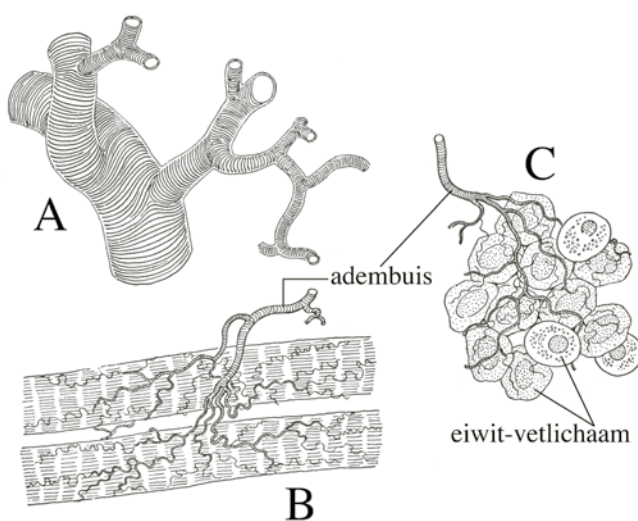
Het larvestadium

Ademhalingsbuizen ontstaan door uitstulping van de beschermende huidlaag (*cuticula* – zie *Bijenhouden* 2020 nr. 2 – Lichaamswand en spieren) tijdens de embryonale fase. Daarmee is de ademhaling bij insecten eigenlijk een verbeterde vorm van huidademhaling, die we zien bij primitieve dieren met een weke huid, zoals regenwormen. De ademhalingsbuizen in het embryo beginnen na 45 uur naar binnen te groeien. Ze vormen dan twee in de lengterichting liggende buizen met dwarsverbindingen. Dit betekent trouwens ook dat de

bekleding van de ademhalingsbuizen bij iedere larvale vervelling wordt gewisseld.

De ademhalingsbuizen, vaak als *tracheeën* aangeduid, zijn verstevigd met spiraalvormige verdikkingen van chitine om ze open te houden (figuur 1A). Aan het eind van de buizen vernauwen ze tot heel smalle buisjes, *tracheolen*, die diep in de weefsels doordringen (figuur 1B en 1C). Deze tracheolen hebben geen chitineuze verdikkingen meer. Zuurstof geraakt via diffusie direct vanuit de tracheolen in de weefsels. Diffusie is de natuurlijke neiging van deeltjes zich gelijkmatig over een ruimte te verdelen, of anders gezegd de beweging van deeltjes van een plaats met een hoge concentratie naar een plaats met een lage concentratie. Het door het lichaam gevormde CO₂ (koolstofdioxide) gaat op dezelfde manier via de omgekeerde weg naar buiten.

De openingen van de tracheeën naar buiten toe heten *spirakels* (of minder juist *stigmata*). Er zijn tien paar spirakels in de larve, twee in het borststuk en acht in het achterlijf



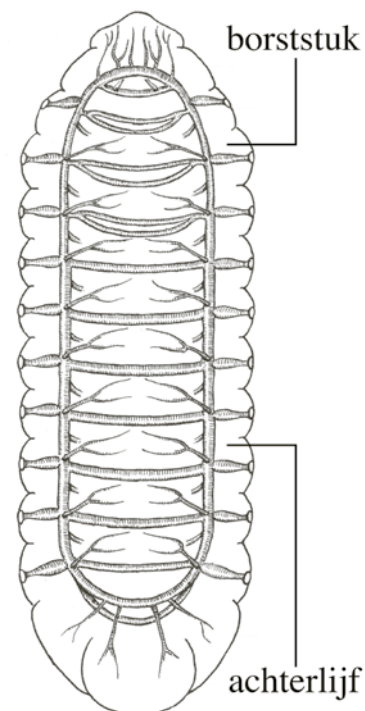
Figuur 1. Structuur van ademhalingsbuizen.

A. Deel van vertakte ademhalingsbuis.

B. Ademhalingsbuis eindigend in tracheolen op spierweefsel.

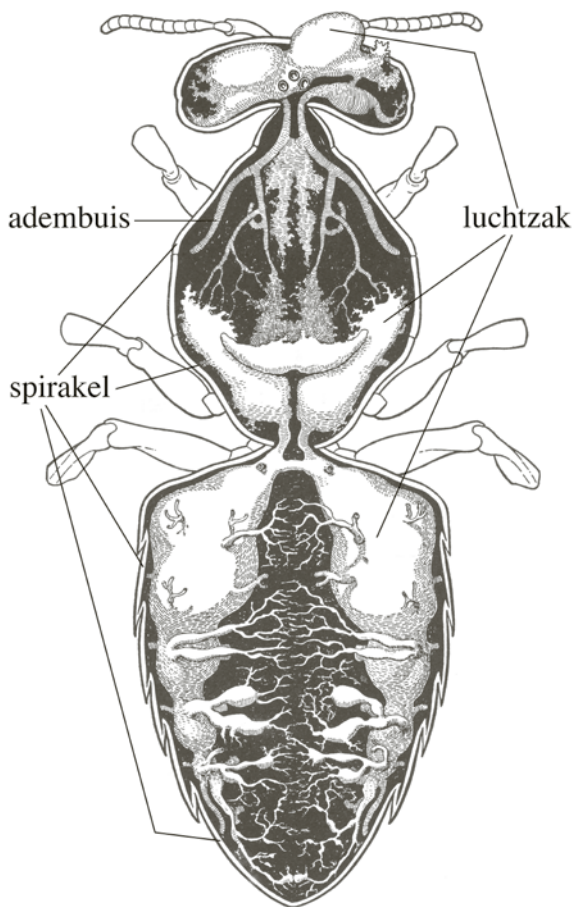
C. Vertakking van ademhalingsbuizen in vetcellen.

Met toestemming overgenomen uit Snodgrass, 1956. *Anatomy of the honey bee*. Comstock Publishing Associates.

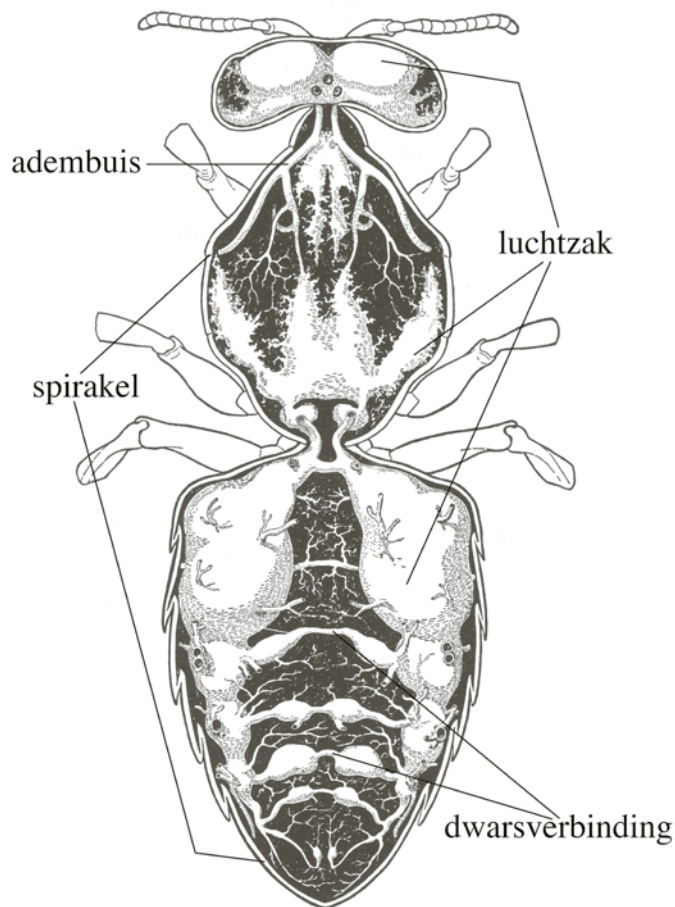


Figuur 2. Ademhalingsstelsel in bijenlarve.

Met toestemming overgenomen uit Dade, 1977. *Anatomy and dissection of the honeybee*. International Bee Research Association.



Figuur 3. Bovenaanzicht ademhalingsbuizen en luchtzakken van werksterbij.
Met toestemming overgenomen uit Snodgrass, 1956. *Anatomy of the honey bee*. Comstock Publishing Associates.



Figuur 4. Onderste ademhalingsbuizen en luchtzakken van werksterbij: beeld na verwijdering ademhalingsbuizen en luchtzakken aan de rugzijde, met als doel het zichtbaar maken van het ademhalingsstelsel aan de buikzijde.
Met toestemming overgenomen uit Snodgrass, 1956. *Anatomy of the honey bee*. Comstock Publishing Associates.

(figuur 2). De spirakels van de larve hebben geen sluitingsmechanisme: ze staan altijd open. Bijenlarven maken in tegenstelling tot volwassen bijen geen ademhalingsbewegingen. Daardoor vindt alleen diffusie van zuurstof plaats, een passief proces dus. Verder zou het goed kunnen dat er ook enige zuurstof rechtstreeks door de huid heen diffundeert.

De volwassen bij

Ook bij de volwassen bij vinden we tien paar spirakels: twee paar op het borststuk (op de *meso-* en de *metathorax*) en op de eerste acht achterlijfssegmenten. Het eerste paar achterlijfsspirakels ligt op het *propodeum*, het eerste achterlijfssegment, dat aan het borststuk vastzit (zie *Bijenhouden* 2020 nr. 6 – Het borststuk). Die zijn de grootste van het hele bijenlichaam. Ook de spirakels in het borststuk zijn behoorlijk groot. Ze hebben als bijzonderheid dat ze ook gesloten kunnen worden. Het eerste paar is erg belangrijk voor de zuurstofvoorziening van de kop, de vliegspieren en

de voorste poten. Het tweede paar voorziet onder andere de middelste en achterpoten van zuurstof.

Bij de volwassen honingbij zijn de lengtebuizen die we bij de larve zagen, omgevormd tot grote luchtzakken, vooral in het achterlijf, maar ook achterin het borststuk. Er is ook een luchtzak in de kop, die de hersenen omgeeft (figuur 3 en figuur 4). De dunne wanden van die luchtzakken zijn niet versterkt met chitine en functioneren als het ware als een soort blaasbalgen. Als het achterlijf wordt samengedrukt worden de luchtzakken ook samengedrukt en omgekeerd.

Werking

Zoals gezegd maakt de larve geen ademhalingsbewegingen. De lucht dringt hier binnen middels diffusie. Bij de larve wordt het bij de ademhaling gevormde CO₂ vooral via de huid uitgescheiden. Bij de volwassen bij worden de luchtstromen in en uit het buizensysteem versterkt door pompende bewegingen van het achterlijf (figuur 5). Als een



haalbij terugkomt van haar speurtochten vertoont zij snelle achterlijfsbewegingen: ze is 'buiten adem'. Dat leidt tot snelle samenpersing en uitzetting van de luchtzakken. Vanuit het achterlijf wordt de lucht dan naar borststuk en kop gestuwd.

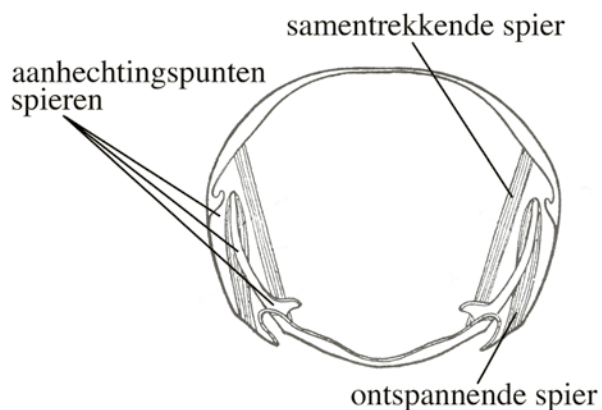
Het lijkt niet zo te zijn dat de luchtzakken dienstdoen als luchtvoorraad. Als je een bij onder water houdt blijven de luchtzakken opgeblazen en toont ze onmiddellijk tekenen van groot onbehagen. Ze verstijft binnen de kortste keren. Maar de luchtzakken helpen waarschijnlijk wél bij het efficiënt maken van de vliegbewegingen, aangezien ze het gewicht van de vliegende bij aanzienlijk verlagen.

Bijna alle spirakels hebben een sluitingsmechanisme, maar de eerste spirakel op het borststuk kan niet helemaal goed dicht. Door deze spirakel kunnen tracheemijten dan ook naar binnen dringen, in tegenstelling tot de andere spirakels (zie foto). Door mijtziekte aangetaste bijen kunnen dan ook niet goed vliegen, want de spirakels op de mesothorax voeden ook de vliegsparieren met zuurstof.

Eigenlijk lijkt het vreemd dat alleen het eerste paar spirakels op het borststuk tracheemijten toegang biedt, want de spirakels op het propodeum zijn het grootst van allemaal, maar hier zijn nooit tracheemijten gevonden. Mogelijk komt dit doordat de randen van deze spirakels heel goed afsluiten.

Bijen kunnen beter tegen CO₂ dan wij. We maken daar gebruik van bij het verdoven van koninginnen tijdens kunstmatige inseminatie. Naar het schijnt leidt CO₂-toediening tot snellere rijping van de jonge moeren. Toediening van CO₂ aan jonge werksters leidt ertoe dat die vervroegd overgaan tot het stadium van haalbij.

Het ademhalingsstelsel via tracheeën is heel effectief, maar de keerzijde ervan is dat ademhaling door diffusie, die eraan ten grondslag ligt, langzaam verloopt. Dit, en het relatief zware chitinepantser, is de belangrijkste oorzaak waarom er bij insecten nooit echt grote vertegenwoordigers zijn ontstaan. Hoe groter het lichaam, hoe langer de zuurstof erover doet om alle uithoeken van het lichaam te bereiken. Dit stelt dan ook een beperking aan het lichaamsvolume van insecten. Grotere, actieve insecten, zoals de honingbij, hebben een actief mechanisme nodig om de gassen door hun lichaam te vervoeren. Door de pompende bewegingen van het achterlijf worden de gassen sneller vervoerd. Dit maakt de ademhaling effectiever, maar het kost wel meer energie dan wanneer er alleen ademgehaald zou worden via diffusie, zoals bij de larve. ●



Figuur 5. Schematische voorstelling samenpersing en uitzetting van achterlijfssegment.

Met toestemming overgenomen uit Snodgrass, 1956. *Anatomy of the honey bee*. Comstock Publishing Associates.



Computergekleurde microfoto van een tracheemijtvrouwje in een trachee van een honingbij. De foto is gemaakt met behulp van een scanning-elektronenmicroscop. Foto Pavel Klimov