

*Hoe vliegt de honingbij?*

# Draaikolken in de lucht doen het werk

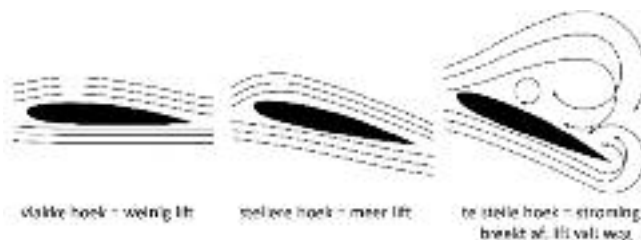
Theo Elzenga en John Videler

Volgens berekeningen die worden gebruikt voor verkeersvliegtuigen kunnen bijen en hommels niet vliegen. Toch zie je het ze doen, hoe kan dat? Vogels, vleermuizen en insecten gebruiken, anders dan vliegtuigen meer dan één principe om in de lucht te blijven. Door metingen aan de luchtstroom rond insectenvleugels tijdens de vlucht, heeft men een goed beeld gekregen van de manier waarop ze in de lucht blijven. Studies aan vliegende bijen zelf leveren nog geen compleet beeld op van het ontstaan van de krachten tussen slaande vleugels en lucht bij die soort. We spelen daarom leentjebuur bij kennis over fruitvliegjes, hommels en zweefvliegen om in te zien hoe bijen vliegen.

Als we met het blote oog naar een vliegende bij kijken, dan zijn de op en neer bewegende vleugels niet meer dan een wazig grijs gebiedje rond het borststuk. De vleugels bewegen tussen de 200 en 315 keer per seconde op en neer: te snel om met het blote oog te volgen. Met hoge-snelheidscamera's die meer dan 6000 beeldjes per seconde kunnen opnemen, kunnen we de manier waarop de vleugels tijdens een slag bewegen tot in detail waarnemen. Uiteraard kun je dan de op- en neergaande beweging zien, maar ook dat de vleugels langs de lengteas worden gedraaid op het moment dat de slag overgaat van een neergaande naar een opgaande beweging en omgekeerd (figuur 1). Kijk maar eens op de website [www.newscientist.com/data/images/ns/av/dn8382.avi](http://www.newscientist.com/data/images/ns/av/dn8382.avi). Bij de 'neerslag' wijst de voorste rand van de vleugel naar voren en naar boven, bij de 'opslag' wijst de rand naar boven en naar achter. De opgaande en de neergaande beweging van de vleugel verschillen niet alleen van elkaar doordat de vleugelstand anders is maar ook de snelheid. De neergaande slag duurt ongeveer 30% langer dan de opgaande. Wordt de beweging ten opzichte van de bij bekeken, dan is de neerslag voorwaarts gericht en de opslag achterwaarts (figuur 2).



Figuur 2. Traject van de tip van de vleugel ten opzichte van de bij (rechts) en de beweging ten opzichte van de lucht waardoor de bij zich van rechts naar links beweegt (naar Nachtigall 1966).



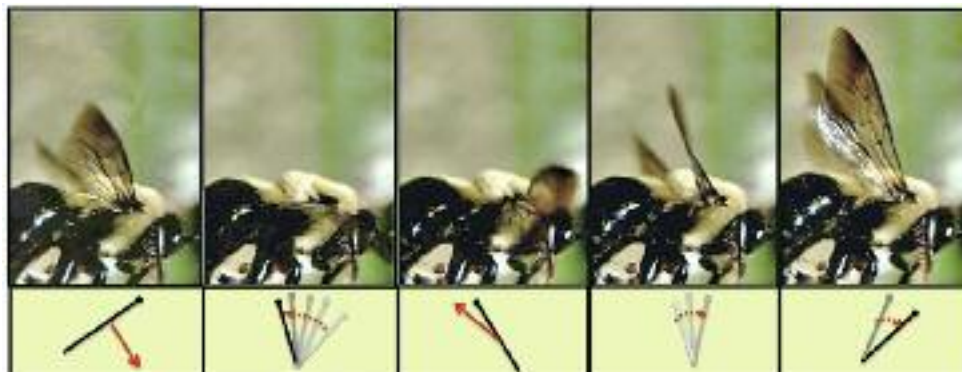
Figuur 3. Effect van de hoek waarmee een vleugel de lucht 'aansnijdt'

## Opwaartse kracht

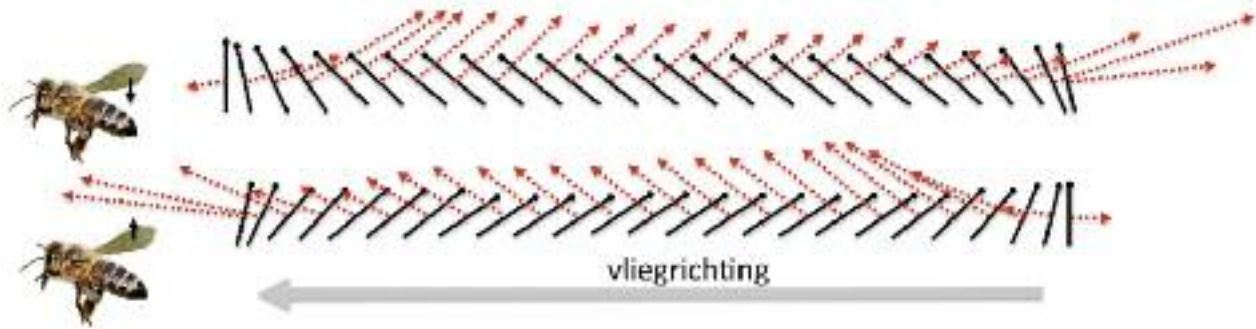
De methoden waarmee aan starre vliegtuigvleugels wordt gerekend, leveren voor bewegende vleugels van insecten een verrassende uitkomst: Er ontstaat te weinig 'lift' (opwaartse kracht), een hommelm of bij zou niet in de lucht kunnen blijven. Vliegtuigvleugels hebben een bepaalde snelheid nodig voor ze lift produceren. Die lift is verder afhankelijk van de bouw van de vleugel en van de aanstroomhoek ten opzichte van de luchtstroom. Om een idee te krijgen van de invloed die deze factoren hebben op de opwaartse kracht op een vleugel kan men op de volgende website met de hoek en vorm van de vleugel 'spelen' [i www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/foil3.html](http://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/foil3.html). In het kort komt het er op neer dat, hoe steiler de hoek waarmee een vleugel door de lucht beweegt en hoe boller de bovenkant van de vleugel is, hoe groter de lift is die wordt ondervonden.

Een nadeel van een steilere hoek en grotere bolling is dat daarmee ook de weerstand groter wordt (figuur 3). Lift en weerstand nemen toe met het kwadraat van de snelheid. Maar bij een vleugel die té steil wordt aangestroomd kan de weerstand zo groot worden dat de luchtstroom niet meer over het vleugeloppervlak stroomt, maar gaat wervelen en van het oppervlak 'afbreekt'. Het vliegtuig is dan 'overtrokken' en genereert geen lift meer.

illustraties T. Elzenga



Figuur 1. Beelden uit een video opgenomen met een ultrasnelle camera. Goed is te zien hoe de stand van de vleugel tijdens de vliegbeweging verandert. Onder de plaatjes is met pijlen nog eens symbolisch aangegeven wat de beelden laten zien. Respectievelijk de stand (zwarte pijl), de draaiing (rood gestippelde pijl) en de bewegingsrichting van de vleugel (rode pijl)



**Figuur 4.** De vleugelstand (zwart) en een schatting van de richting en grootte van de krachten die door de vleugelslag op de vleugel worden opgewekt (rood gestippeld). Bovenste serie: situatie tijdens opeenvolgende momenten tijdens de neerwaartse beweging. Onderste serie: tijdens de opwaartse slag (naar Dickinson e. a. 1999)

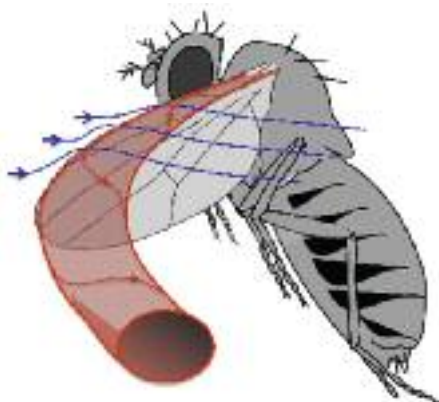
### Werking insectenvleugel

Ook een insectenvleugel werkt gedeeltelijk op de manier waarop een vliegtuigvleugel functioneert: door de vleugel onder een hoek door de lucht te bewegen wordt er opwaartse kracht gegenereerd. Omdat de snelheid en positie van een insectenvleugel tijdens een slag voortdurend veranderen, zijn lift en weerstand ook telkens anders. Als we voor elke positie tijdens de vleugelslag heel precies de snelheid en de hoek bepalen kunnen we de totale hoeveelheid lift berekenen. De opwaartse kracht die op deze manier wordt uitgerekend is echter maar eenderde van wat nodig is om een insect in de lucht te houden.

### Draaikolk

Dus moeten er nog andere krachten in het spel zijn. De belangrijkste daarvan is de opwekking van wat we een miniatuurtornado zouden kunnen noemen, boven de voorrand van de vleugel. Dit effect is ontdekt toen men het vlieggedrag van deltatvliegers onderzocht. Deze bleken heel goed in staat te zijn om in de lucht te blijven terwijl de vleugels een steile hoek met de aanstromende lucht vormen. Bij deltavleugels, en ook bij de vleugels van vleermuizen, vogels en insecten, gebeurt iets bijzonders: de luchtstroom breekt van de voorrand af en gaat bewegen als één steeds wijder spiraliserende werveling (in het Engels wordt dat een 'leading edge vortex' ofwel LEV genoemd (figuur 5)). De draaikolk die zo wordt opgewekt levert een belangrijke bijdrage aan de lift nodig is om de bij in de lucht te houden.

Aan de werking ligt een fysisch principe ten grondslag dat werd ontdekt door Bernoulli: de som van dynamische en statische druk in een bewegende hoeveelheid lucht is constant. In de snel ronddraaiende lucht in de LEV is de dynamische druk hoog



**Figuur 5.** Impressie van de leading edge vortex, de draaikolk opgewekt aan de bovenkant van de vleugel tijdens de neerwaartse beweging van de vleugel

en dit leidt noodzakelijkerwijs tot een lage statische druk. In de werveling heerst daardoor ten opzichte van de lucht onder de vleugel een onderdruk en dit drukverschil levert een opwaartse kracht op.

Een belangrijk aspect van een LEV is dat hij moet worden ververst, anders zwelt hij op en breekt af. Dat verversen gebeurt bij een naar achteren gebogen vleugel doordat de wervel wordt meegevoerd met de stroomrichting en aangekomen bij de vleugelpunt van de vleugel af loopt. Bij een vleugelslag met een gestrekte vleugel, zoals bij een bij, loopt de wervel door centrifugale krachten van de vleugel af in de richting van de punt, en verliest daar het contact met het vleugeloppervlak.

Een vleugel met een LEV erboven vormt op doorsnede een conventioneel vleugelprofiel met een grotere bolling. De lucht gaat over de LEV heen, waardoor een extra bijdrage aan de lift wordt geleverd.

### Nog twee effecten die helpen

Aangekomen op het laagste of het hoogste punt maakt de bijenvleugel een snelle draaiing om de lengteas. Daarbij treden er nog twee voor de lift op de vleugel belangrijke effecten op. Het eerste is het Magnuseffect, dat we kennen van topspin- of backspineffecten op een tennis- of golfbal die na opslag even in de lucht blijft hangen. Mee ronddraaiende lucht maakt de stroming boven de vleugel sneller waardoor er drukverschil met de onderkant ontstaat, dat de vleugel lift geeft.

Het tweede is het opwekken van een 'omslagwervel'. Deze ontstaat wanneer het bijenvleugelvlak van richting verandert. Een truc helpt de bij aan lift bij het begin van elke slag: de vleugel haalt de omslagwervel in en gaat er onder hangen. Hierdoor wordt ook het opwaartse effect van die draaikolk gebruikt.

Bijen en andere insecten die snel met hun vleugels slaan gebruiken dus niet één maar wel vier technieken om in de lucht te blijven. Honingbijen onderscheiden zich van andere insecten door hun relatief kleine en snelle vleugelslagen. Dit zou een aanpassing kunnen zijn aan het vervoer van zware ladingen nectar, pollen en hars.

*Theo Elzenga is hoogleraar ecofysiologie van planten aan de Rijksuniversiteit Groningen en als imker lid van Haren-Paterswolde. John Videler is emeritus-hoogleraar mariene zoölogie (ook RU-Groningen) en auteur van o.a. het boek Avian Flight.*

*De links naar deze filmpjes en de gebruikte literatuur zijn te vinden op [bijenhouders.nl](http://bijenhouders.nl) > Tijdschriften > aanvullende informatie december 2010.*