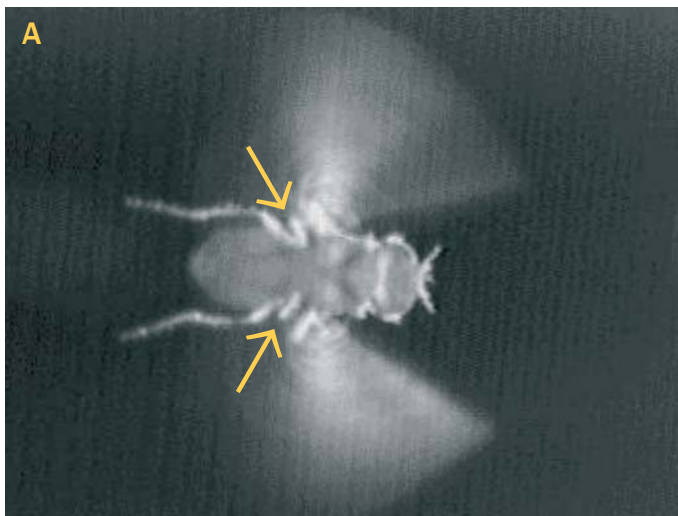


Fluer i flysimulatoren

Ved at putte bananfluer i en flysimulator kan man lære en masse om fluers fascinerende evne til at undgå fluesmækkeren. Hemmeligheden er stor manøvreduktighed og et visuelt system, der kan opfange 300 billeder i sekundet.



Billede A viser en bananflue ophængt i en flysimulator mens den flyver. Fluen ses nedefra, og pilene angiver placeringen af de såkaldte haltere, der er vigtige for fluernes flyveegenskaber. På billede B ses den kølleformede halter i nærbillede (ved pilen).

Af Thomas Hesselberg

■ De fleste husker måske fra skolens biologitimer, at de små bananfluer med de karakteristiske røde øjne er en vigtig modelorganisme i genetik. Men faktisk er bananfluer også glimrende forsøgsdyr i andre forskningsgrene. Vi bruger i vores forskning bananfluer som model til at forstå synets betyd-

ning hos flyvende insekter. Udover at forøge vores grundlæggende viden om den mest artsrige dyregruppe er det interessant at vide mere om synets betydning hos insekter, da det måske kan give os indsigt i, hvordan samspillet mellem bevægelseskontrol og synet fungerer hos mennesker. Desuden

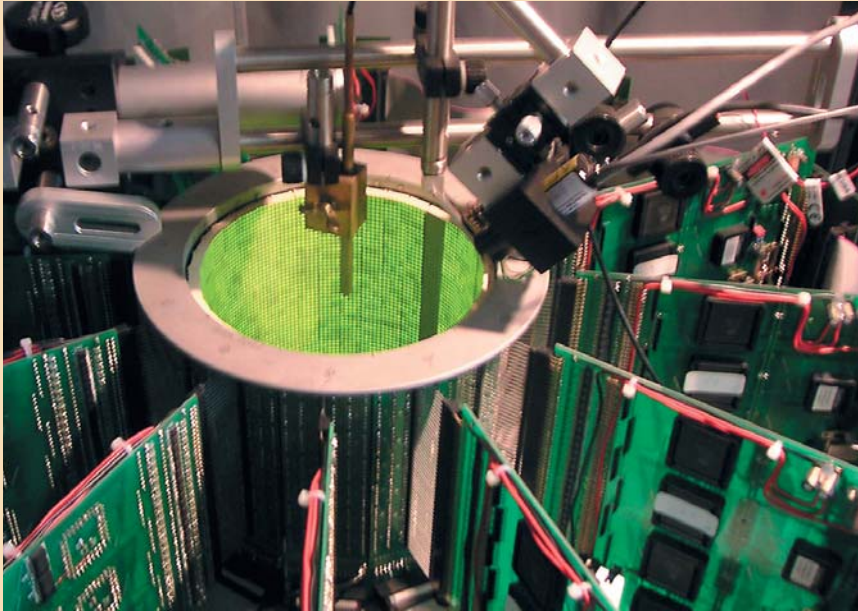
kan denne viden også vise sig uvurdelig i udviklingen af flyvende bio-robotter.

Flueflyvningens kunst

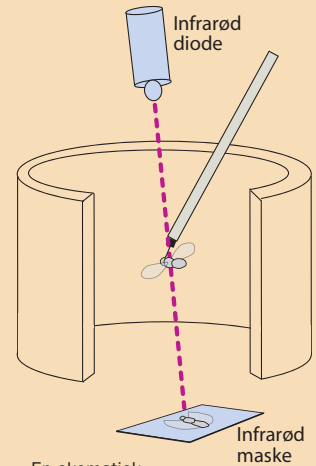
Bananfluerne tilhører gruppen af tovingede insekter, der kun har et par vinger, mens andre flyvende insekter som f.eks. guldsmede har to par vinger.

De bagerste par vinger er hos bananfluerne omdannede til små kølleformede udvækster, såkaldte *halterer*, der fungerer som sensorer, og fortæller fluen hvis den roterer eller drejer under flyvningen. I forhold til guldsmede, der har to par normale vinger som ydermere kan bevæges uafhængigt af hin-

Flysimulatoren



Et billede af flysimulatoren i Ulm, hvor man ser selve LED-cylindren i midten og printpladerne, der kontrollerer hvad skærmen viser, udenom.



En skematisk tegning af cylinderen med en flue ophængt i midten og den infrarøde belysning fra oven. Nederst ses den infrarøde sensitive maske som opfanger skyggen kastet af fluevingerne og dermed bestemmer vingeslags-frekvens og -amplitude.

anden, betyder det, at fluerne ikke er helt så manøvredygtige. Blandt andet kan de ikke flyve baglæns ligesom guldsmede. Men som vi får et indtryk af, når vi prøver at ramme en flue med fluesmækkeren, så har de en anden fordel: Sammen med fluernes visuelle system, med øjne der kan opfange op til 300 billeder per sekund som enkeltbilleder (til sammenligning kan

vi opfatte 24 billeder i sekundet), giver de kølleformede organer fluerne langt hurtigere reaktionsmuligheder.

De kan dreje hurtigere end guldsmede, og derfor bedre undgå fluesmækkeren. En anden forskel på de to typer insekter er, at hvor guldsmede har direkte flyvemuskler, hvor musklerne bevæger vingerne ved hvert vingeslag, så har

fluer indirekte flyvemuskler, hvor musklerne bevæger hele det ydre skelet.

Det betyder, at vingerne bevæges ved mekaniske sammentrækninger af skelettet og ved hjælp af det elastiske materiale resilin. Dette, sammenholdt med, at musklerne trækker sig sammen flere gange ved hver nerveimpuls, giver fluerne mulighed for et meget stort antal vingeslag per sekund. Bananfluen flyver således med en frekvens på mere end 200 vingeslag per sekund.

Syn og flyvning

Hos mange dyr, inklusive os selv, spiller synet en vigtig rolle for balancegangen samt under hurtig og retningsbestemt bevægelse. Prøv bare at bevæge dig med bind for øjnene eller i mørke og se hvor meget sværere det er at gå lige.

Tilsvarende spiller synet en afgørende rolle for at opretholde stabil flyvning hos flyvende insekter. Hos fluer er halterne dog lige så vigtige, og fluer kan

faktisk flyve relativt stabilt selv i total mørke. Fjerner men derimod halterne kan de ikke lænere flyve stabilt.

Insekterne bruger synsindtrykket til at vurdere, hvordan de selv bevæger sig. Deres øjne består af facetøjne med en langt større synsvinkel end vores øjne – således har fluer et synsfelt på over 300° uden at bevæge hovedet.

Kontrastforskelle i det visuelle billede fra øjnene, fremkaldt af genstande i omgivelserne, giver insektet information om i hvilken retning billedet bevæger sig. Synsindtrykkene fra begge øjne bliver så sammenlignet og brugt til at bestemme, hvordan insektet bevæger sig. Hvis billedet fra højre øje f.eks. bevæger sig med uret (front til bag) og billedet fra venstre øje bevæger sig mod uret, må dyret bevæge sig fremad (tænk selv efter!). Hvis begge billeder derimod bevæger sig mod uret drejer dyret til højre.

Et af de vigtigste redskaber

Bananfluer

Bananfluer tilhører sammen med andre typer fluer, myg og stankelben, gruppen af tovingede insekter (ordenen diptera). Bananfluer udgør en kosmopolitisk familie med mere end 3.000 arter, hvoraf omkring 40 forekommer i Danmark. Den bedst kendte og mest benyttede bananflue har det latinske navn *Drosophila melanogaster*. Det er denne art som hovedsageligt refereres til i denne artikel. Den voksne bananflue er 3-4 mm lang og vejer 1-2 mg.

Bananfluer tiltrækkes af gærende frugter eller grøntsager. Her lægger de deres æg og her lever maddikerne en uges tid, inden de forvandles til næste generation af bananfluer. I særligt varme somre og efterår kan de til tider optræde i så store mængder indendørs, at de kan være til gene, men som hovedregel er de ganske uskadelige.

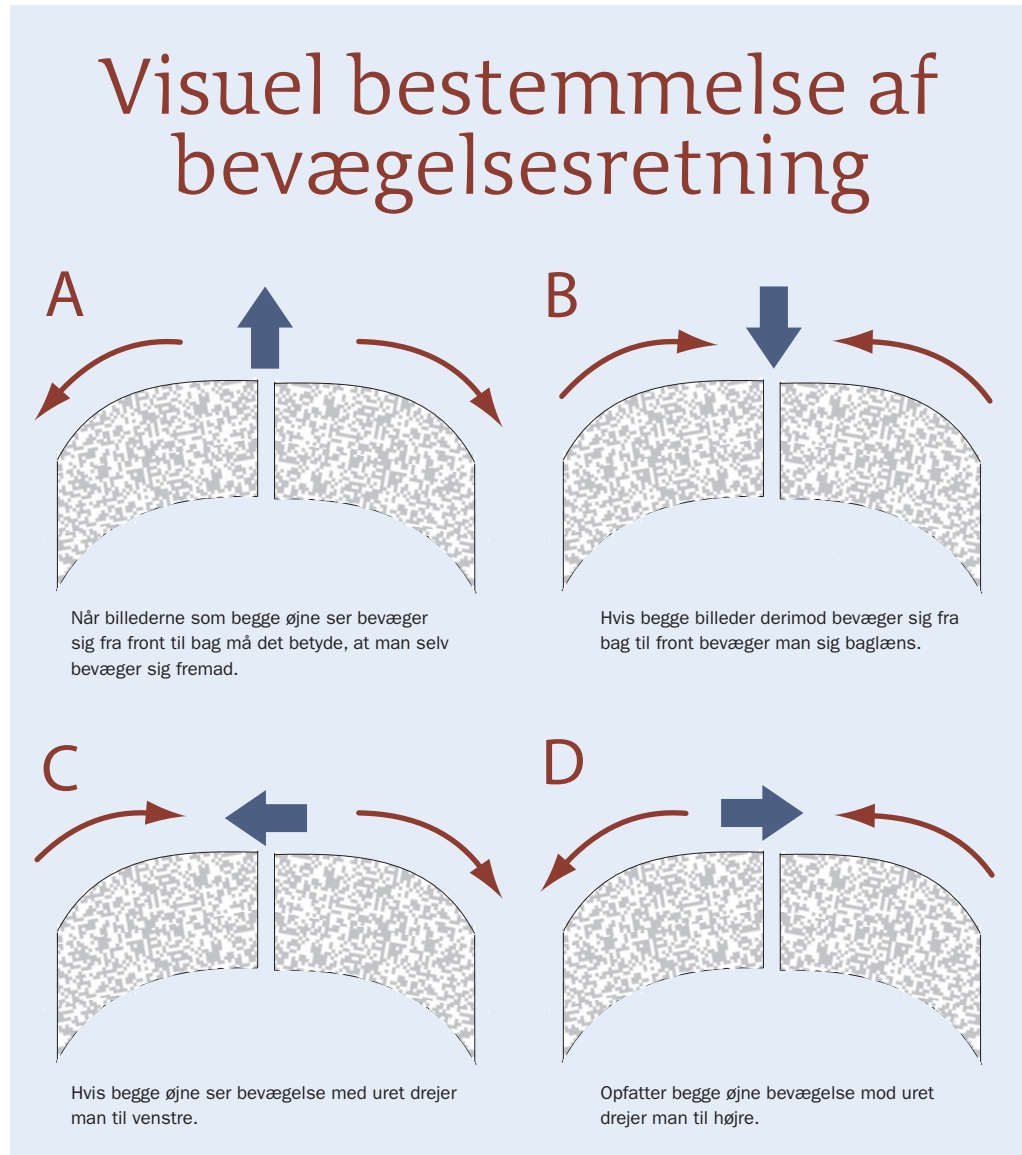
hos insekter til at kontrollere deres flyvning, er den såkaldte *optomotoriske respons*. Den går netop ud på at stabilisere synsindtrykkene fra begge øjne, således at de ikke bevæger sig i samme retning. Insekterne kan også bruge hastigheden hvormed de to billeder bevæger sig. Således kan bier flyve fremad præcis i midten af et rør ved at sikre sig, at synsindtrykkene fra begge øjne bevæger sig bagud med samme hastighed. Hastigheden hvormed et objekt nærmer sig, altså hvordan det fylder mere og mere af synsfeltet, bliver også brugt til at vurdere om en flue skal forberede sig på at lande (ved at øge vingeslagsfrekvensen og bevæge benene fremad) eller lave en undvigemanøvre (som gøres ved lynhurtigt at ændre amplituden af vingeslaget i den ene side i forhold til anden, hvorved fluen drejer i retning af det mindste vingeslag).

Bananfluer i flysimulatoren

Da fluer er ret bevægelige og flyver ganske hurtigt, er det svært at studere deres flyveadfærd under normale forhold. Heldigvis kan man få dem til at udvise næsten normal opførsel i en fly-simulator, der fungerer på den måde, at fluerne befinder sig i centrum af en cylinderformet LED-skærm.

Fluerne er ophængt frit i luften ved hjælp af en tynd metaltråd, som med lim er fastgjort til deres nakke-region. I denne tilstand udviser de gennem længere tid normal flyveadfærd, på trods af, at metaltråden gør, at de hverken kan bevæge sig fremad eller skifte orientering. Ved at belyse fluerne fra oven med infrarødt lys kan man ud fra den skygge vingerne kaster under fluerne måle både deres vingeslags-amplitude (dvs. hvor mange grader vingerne bevæger sig op og ned på et vingeslag) og deres vingeslags-frekvens.

LED-skærmen styres af en computer, som kan programmeres til at vise forskellige mønstre i fluernes synsfelt.



Viser man for eksempel et tilfældigt mønster af hvide og sorte firkanter, der roterer med uret, vil fluerne forsøge at dreje mod uret, selvom metaltråden forhindrer dem i rent fysisk at dreje. Viser man derimod en sort stribe vil fluerne i langt de fleste tilfælde forsøge at fastholde striben direkte foran dem. Denne adfærd er lidt sværere at beskrive som naturlig adfærd om end den også er fundet i frit flyvende fluer. Måske tiltrækkes fluerne af striben, fordi de i naturen sikrer sig, at de flyver i en konstant retning ved at orientere sig mod fjerntliggende og fremtrædende genstande i deres visuelle omgivelser såsom buske og træer.

Virtual reality for bananfluer

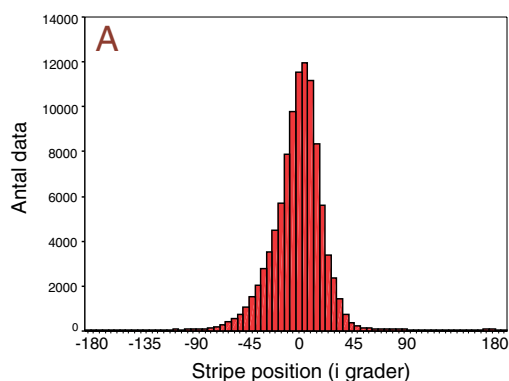
Man kan studere fluernes adfærd i flysimulatoren i to forskellige situationer. Man kan forprogrammere mønstret eller striben til at bevæge sig på en bestemt måde, uanset fluens adfærd, eller man kan lade fluens bevægelser være afgørende for, hvordan mønstret bevæger sig. Sidstnævnte er det, vi forstår ved en ægte flysimulator, hvor fluen befinder sig i en slags virtual reality. Fluen kontrollerer mønstret ved at forskellen mellem dens venstre og højre vingeslagsamplitude, og under naturlige forhold angiver drejningsmomentet og retningen, fodres til computeren, som bruger den til at bestemme

mønstrets bevægelse. På trods af de unaturlige forhold lærer de fleste fluer i løbet af ganske få sekunder at kontrollere mønstret.

Fly-simulatoren kan bruges til at vise os, hvordan fluerne styrer i bestemte retninger. Og ved at variere styrken mellem fluernes adfærd og skærbilledets bevægelse, får vi et indtryk af, hvordan de lærer at kontrollere forskellige feed-back situationer. Desuden kan flysimulatoren bruges til at skaffe viden om fluernes energiforbrug ved forskellige manøvre.

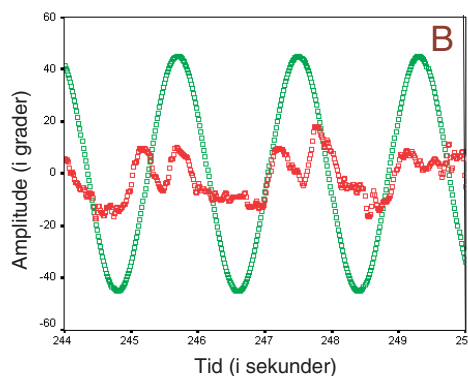
En vigtig fordel ved at benytte bananfluer er, at genetikere har fremelsket mange forskellige mutanter, som tillader specifikke eksperimenter.

Fiksering af en stribe i fly-simulatoren



A. Closed-loop situation hvor fluen kan kontrollere positionen af striben. Histogrammet viser 9 fluer som hver har fløjet i 2 minutter. Det ses tydeligt, at fluerne forsøger at holde striben lige foran dem (position 0°).

B. Open-loop situation hvor fluen ikke kan kontrol-



lere positionen af striben. Striben oscillerer her med en amplitude på 45° og en periode på 2 sekunder (grønne punkter). De røde punkter angiver forskellen mellem venstre og højre vingeslags-amplitude. Det ses, at fluen forsøger at matche stribens bevægelse ved at dreje mod striben.



Om forfatteren

Thomas Hesselberg er videnskabelig medarbejder (postdoc) Institut for Neurobiologi, Universitet Ulm, Ulm, Tyskland
Tlf.: +49 731 502 3116
E-mail: T.Hesselberg@zensci.dk

For eksempel kan man ved at benytte mutanter med hukommelses- og indlæringsproblemer få en ide om, hvilken rolle erfaring spiller for deres flyveadfærd.

Der er dog også en række ulemper ved at benytte flysimulatoren. Bl.a. bevæger fluerne sig jo ikke i luften, og de får derfor heller ingen information om deres egen hastig-

hed via vindmodstanden eller fra deres haltere – og det ved man har stor betydning, når de flyver frit. Desuden ved vi også, at bananfluerne ændrer deres kropsvinkel alt afhængig af hastigheden, og at de drejer bagkroppen i modsat retning af den, de ønsker at dreje i. Men så længe man er klar over begrænsningerne ved brug af flysimulatoren, er der endnu

mange ting, den kan lære os om insekters flyveadfærd.

Tag ved lære af naturen

Resultaterne af vores forsøg med bananfluer i flysimulatoren øger ikke blot vores forståelse af disse fascinerende skabningers formåen, men kan også få en direkte anvendelse i vores egen teknologi. Biomimetik er et forholdsvist nyt område, hvor ingeniører og biologer lader sig inspirere af naturens egen "teknologi", som jo er udviklet over milliarder af års evolution. Således kan viden om insekters flyveadfærd vise sig at være uvurderlig i forsøget på at udvikle små selvstændige flyvende robotter. Sådanne robotter er af stor interesse, idet de kan bruges i redningsaktioner og til militære formål som overvågning og rekognoscering.

Der er derfor mange forskningsgrupper, der i øjeblikket aktivt forsøger at udvikle såkaldte micro-air vehicles baseret på insekters morfologi og flyve-egenskaber – eksempelvis "Det mekaniske flue projekt" på Berkeley universitetet i USA. Der er dog stadigvæk lang vej før vi kan udvikle robotter der kan udvise lige så imponerende flyve-egenskaber som dem vi finder hos fluer og andre insekter. ■

Yderligere læsning:

Brodsky, A. K. *The evolution of insect flight*. Oxford University Press. Oxford. 1994.

Egelhaaf M. (1991). *How do flies use visual motion information to control their course?* *Zoologische Jahrbuch der Physiologie* 95: 287-296.

Schenato L., Deng, X. and Sastry, S. (2001). *Flight control system for a micromechanical flying insect: architecture and implementation*. *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Seoul, Korea*.

Kiil, L. & Hesselberg, T. 2004. *Naturen kræver tværfaglighed*. *Ingeniøren* 35: 24-25.

Evolution af flyvning hos insekter

Insekter udviklede evnen til at flyve for omkring 350 millioner år siden, sandsynligvis som en videre-udvikling af udvendige gæller, som de datidige akvatiske larver besad (og som stadigvæk findes hos døgnflue- og slørvinge-larver). For omkring 300 millioner år siden fløj kæmpe-guldsmede med et vingespan på 55-70 cm. Derfra udviklede de flyvende insekterne sig ret hurtigt og alle nulevende insektgrupper fandtes i kridttiden for 100-150 millioner af år siden.

Ny forskning antyder, at den store diversitet muligvis opstod i et våbenkapløb med edderkopperne og deres hjulspin som udvikledes på omtrent samme tid. Alle primitive insektgrupper såsom døgnfluer, slørvinger og guldsmede har to par fuldt udviklede vinger, hvorimod de moderne insektgrupper funktionelt kun har ét par vinger. Hos biller er det første par vinger ændret til dækvinger, hos fluer er det andet par vinger ændret til haltere og hos bier, hvepse og sommerfugle er de to par vinger sammenkoblede, så de bevæges som én vinge.