



# BEVINGAT

FLYG- OCH RYMDTEKNISKA FÖRENINGEN

Redaktör: Ulf Olsson (ulf.olsson.thn@gmail.com)



## BEVINGAT I NATUREN

### Artiklar ur tidskriften Bevingat 2014–2022

Flygning verkar ha utvecklats självständigt hos många organismer från spridande frön, reptiler och dinosaurier till insekter, däggdjur och fåglar. Det diskuteras om flygningen utvecklades från marken och upp eller från trädkronorna ner. Oavsett så måste flygning ha börjat med ett språng ut i tomma intet. Det började kanske som fritt fall utan några försök att öka luftmotståndet eller ge lyftkraft och fortsatte med bromsade fall och glidflygning till svävande och aktiv flygning.

Svävande flygning är en form av glidflygning där djuret kan lyfta eller på annat sätt förflytta sig i luften utan att flaxa med vingarna. Lyft fås genom termik eller andra meteorologiska fenomen. Bara större djur kan effektivt använda denna flygteknik, de större arterna inom de utdöda flygödlorna, ett antal grupper med större fåglar och ett fåtal flygfiskar.

Aktiv flygning hos djur innebär att flaxa med vingar för att skapa lyftkraft. Dessa djur kan lyfta utan hjälp av vind, eller andra meteorologiska fenomen. Aktiv flygning är mycket energikrävande för stora djur, medan en större storlek är till fördel vid svävande glidflygning eftersom det ger djuret en stor vingyta i förhållande till dess vikt, vilket maximerar lyftkraften. Svävande glidflygning är mycket energieffektivt.

Flygförmåga hos djur, antingen aktiv flygning eller olika former av glidflygning har utvecklats separat flera gånger under evolutionen. Aktiv flygning har utvecklats hos minst fyra separata djurgrupper, insekter, flygödlor, fåglar och fladdermöss, och glidflygning hos ännu fler som fiskar, ormar och däggdjur som flygekorrar.

Trots att bara fyra djurgrupper har utvecklat aktiv flygning, så är alla mycket framgångsrika, vilket indikerar att det är en lyckad strategi. Aktiv flygning kan ha utvecklats ur glidflygning, men glidflygning har flera egna fördelar. Det är till exempel ett mycket energieffektivt sätt att färdas från träd till träd. Glidflygande djur lever oftare av föda med låg energi, som blad, medan djur anpassade för aktiv flykt kräver föda med hög energi som nektar, frukt, insekter och kött. Aktiv flygning är nämligen mycket krävande. En mindre tätting kan utveckla en muskeleffekt av cirka 100 W/kg kroppsvikt och en mås ungefär 25 W/kg, medan en människa bara klarar av 3 W/kg.

Människor har alltså inte av naturen vad som krävs för att flyga. Flygande djur har därför alltid inspirerat människor att försöka uppfinna sina egna flygmaskiner. Efter drygt hundra år av mänskligt flygande har man nu börjat försöka förnya mänskligt konstruerade flygplan genom att härma naturens framgångsrika principer för lättmanövrerad och effektiv flygning. Detta kommer vi att se närmare på efter att först ha betraktat de olika djurarternas sätt att flyga.

## Innehåll

---

<b><u>Hur gör de då när de flyger så bra?</u></b>	<b>5</b>
Forskning Animal Flight Lab i Lund	6
<b><u>Hur det kanske började</u></b>	<b>9</b>
Spindlar som driver med vinden	10
Glidflygande ormar och andra djur	11
<b><u>Insekter-hur de flyger och navigerar</u></b>	<b>12</b>
Varför vi aldrig lyckades flyga som insekter	13
Hur myggor flyger	16
Ny syn på flygande insekter	17
Flugor flyger som stridsflygplan	18
Varma fjärilar kan inte flyga	19
Hur getingar navigerar	20
Insekter använder också magnetisk kompass	21
Bin har fem ögon och kan räkna till noll	22
Fjärilar flyger effektivt med flexibla vingar	23
<b><u>Fåglar—trots allt bäst</u></b>	<b>24</b>
Varför är fåglar så små?	25
Om fåglars glidtal	27
Svalors aerodynamik	33
Mer komplicerat än man trott	35
Varför är pilgrimsfalkar så dödliga?	36
Forskare upptäcker hemligheten med termikflyg	37
Sover medan de flyger	38
Hur fåglar kan upptäcka jordens magnetfält	39
Svärmintelligens	40
Fåglar är byggda för fart	41

## BEVINGAT I NATUREN

<b><u>Fladdermöss-bättre än man tror</u></b>	<b>45</b>
Världens snabbaste djur är en fladdermus?	46
Fladdermöss använder superkänslor för att flyga med precision	47
Fladdermöss stör varandras radar för att stjäla mat	48
Skillnader mellan fladdermöss och fåglar	49
 <b><u>Vad vi kan lära oss av naturen</u></b>	 <b>54</b>
Forntida lösningar på moderna flygproblem	55
Varför saknar fåglar stjärtfena?	58
Varför har fåglarna stjärt?	59
Om kungsfiskarens näbb	60
”Geckoödlor” och ”blomteknik” håller rent	61
Räka ger starkare flygplanskomposit	62
Kolibrien är en robot	63
Ugglefjädrar ger tystare vindkraftverk	64
Trollsländor kan ge bättre vindkraft	65
Hur jaga som hökar och fladdermöss?	66
Robotförsvar och trollsländor	67
Örnar jagar drönare	68
Drönare lär av insekter	69
Drönare som ser som insekter	70
Pollinering med drönare	71
Bihjärnor kan revolutionera drönare	72
Djur i rymden	73
Fello’fly sparar bränsle	74
Ugglefjädrar kan ge tysta flygplan	76
Att flyga optimalt. Flygtekniker lär sig av naturen	77
Att tämja överljudsbuller med lite hjälp från pingviner	79
Formbara vingar-Fåglar vet bäst	80

**BEVINGAT I NATUREN**

Hajar minskar motstånd	81
Turbinblad som morrhår	82
Robotfåglar	83
Flygande vätesensor	85
Hur man landar	86
Robotstingrocka	87





## Hur gör de då när de flyger så bra?

Utvecklingen av flygning i både ryggradsdjur och ryggradslösa djur har lett till en mängd olika anpassningar. Till exempel är storleken viktig. På grund av olika matematiska lagar måste mindre djur slå sina vingar snabbare för att stanna i luften. Dessutom är luftmotstånd ett betydande problem för mindre djur, vilket innebär att det finns en effektiv minsta storlek för flygning.

Men flygande djur kan inte heller vara för stora. Stora fåglar som svanar eller albatrosser måste kämpa för att komma upp i luften. Ny forskning om Argentavis magnificens - den största fågel som någonsin tros ha flugit - visade att dess 7 m vingbredd var så stor att den helt enkelt inte kunde ha lyft från marken. Den måste ha hoppat upp i luften från höga platser med hjälp av termik och uppvind. Väl där kunde den glida omkring upp till 200 mil.

Lyftkraften hos djur åstadkoms genom vridning av vingarna. Vingslaget nedåt med relativt låg framkant ger både dragkraft och lyftkraft. Vid återföringen av vingen uppåt vrids vingen så att framkanten leder den uppåtgående rörelsen, vilket minskar motståndet och reducerar den negativa lyftkraften. Vridningen varierar med farten. Lägre fart kräver större vridning.

Andra sätt att minska motståndet vid återföringen är att delvis dra ihop vingarna, som görs av stora fåglar, eller att föra tillbaka vingarna med lägre hastighet. Detta används av fjärilar i kom-

bination med måttlig vingvridning. De flesta flygande insekter däremot använder vingslagens båda riktningar till att alstra lyftkraft och dragkraft (och bromskraft) genom kraftig vingvridning.

Vissa fåglar, exempelvis rovfåglar och havsfåglar, kan också vid kraftig motvind med ytterst små parerande vingrörelser hålla sig stillastående, nästan svävande, och balansera på vinden. En annan teknik som nyttjas av många insekter är att föra vingarna fram och tillbaka så att lyftkraft genereras både vid framåtsvep och bakåtsvep. Från sidan sett beskriver vingrörelsen en liggande åtta.

Även om svävning inte förbrukar energi lika snabbt som aktiv flygning, måste det hållas under längre perioder och kräver därför stora mängder bränsle och förmågan att metabolisera det effektivt.

Det finns också flera olika tekniker i naturen för att hålla sig stillastående i luften. Exempelvis ryttlar många fåglar vilket innebär att de kraftfullt, men inte nödvändigtvis snabbt, flaxar upp och ned med vingarna samtidigt som de reser upp kroppen något, för att mer eller mindre effektivt stå still i luften. Denna teknik kräver lyftkraft via vind och nyttjas exempelvis av flera tärnor, kungsfiskare och rovfåglar vid födosök.

Fenomenet är särskilt energikrävande. Kolibrier är svävare och förbrukar cirka fem gånger sin kroppsvikt i bränsle per dag. Deras hjärtan slår med upp till

1200 slag per minut under flygning och är exceptionellt stora i proportion till fåglarnas storlek.

Kolibrier är också en av de största och mest framgångsrika fågelgrupperna med 320 kända arter som upptar ett brett utbud av ekologiska nischer i Amerika. Vissa har bemästrat att sväva på höjder upp till 5000 m i Anderna och har därmed övervunnit de dubbla handikappen av minskad syretillförsel och behovet av snabbare vingslag för att hålla sig i luften.

Faktum är att kolibrier under sin utveckling tagit flera fågelanpassningar till sin absoluta gräns. Dessa inkluderar andnings- och metaboliska funktioner och förändrad blodkemi. Till exempel är fåglarnas alveoler - de sista grenarna i lungorna, där syre och koldioxid utbyts med blodet - rörformiga och ger en större yta för utbyte än hos däggdjur, som har sfäriska lungsäckar.

Den mest uppenbara anpassningen hos fåglarna är dock vingarna. Hos fågelvingar är den flygande ytan gjord av fjädrar snarare än hud. Förutom att ge enastående isolering, ger fjädrar också aerodynamiska fördelar som minskar energiförbrukningen. Experiment i vindtunnlar har visat att fågelflygning faktiskt är mer effektiv än vad man skulle förutsäga baserat på formen av enbart vingarna. Fjädrar ger uppenbarligen ytterligare energibesparingar, kanske genom att utnyttja lokal turbulens för att minska luftmotståndet och öka lyftkraften.

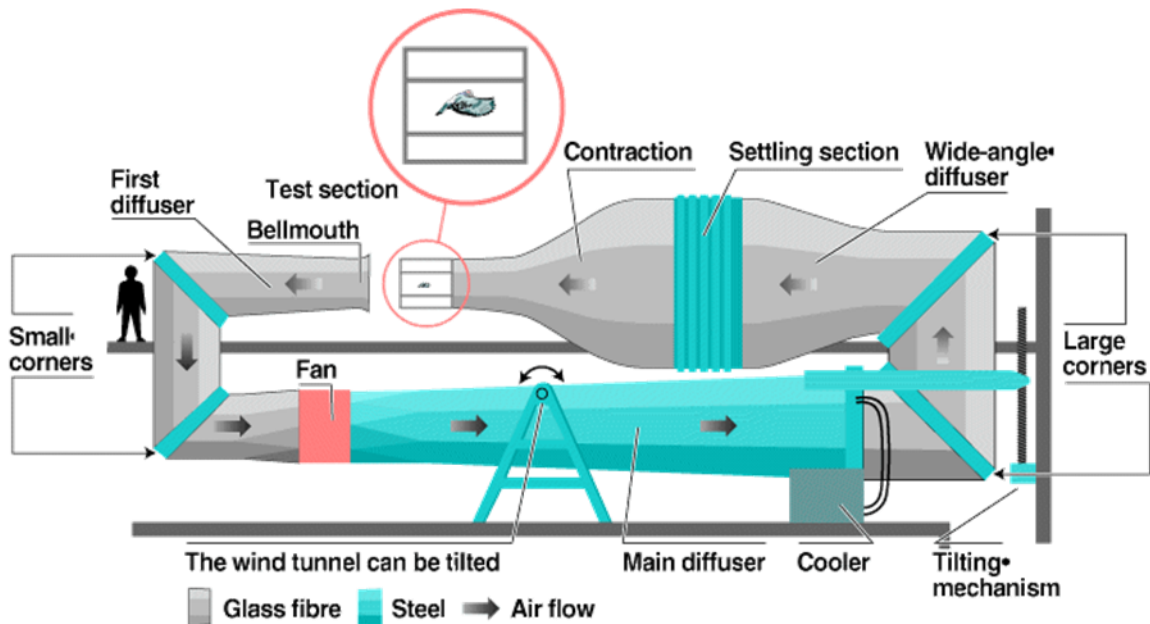
## Forskning -Animal Flight Lab i Lund



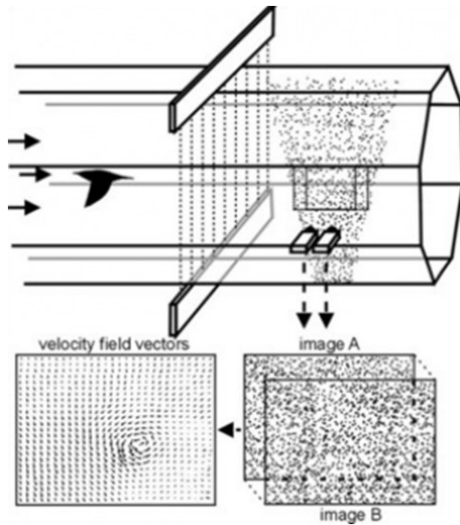
Vid Lunds Universitet finns en forskargrupp om cirka tio personer under ledning av professor Anders Hedenström, som kan mycket om hur fåglar och insekter flyger. Gruppen har producerat ett stort antal forskningsrapporter och artiklar varav en del refereras här.

Anders Hedenström, professor i teoretisk ekologi vid Lunds universitet.

I en vindtunnel, som byggts speciellt för ändamålet, gör man i Lund experiment med insekter, fladdermöss och fåglar. Man studerar vingarnas rörelse samt strömningen och virvlarna över dem. På det sättet kan man dra slutsatser om storlek, riktning och variation av de aerodynamiska krafterna. Från denna information kan man sedan ställa upp teoretiska modeller.



## PIV-Particle Image Velocimetry



Vindtunneln i Lund byggdes 1994. Det är en låghastighets, lågturbulent vindtunnel specialbyggd för att studera fåglars flykt även om den senare har modifierats för att kunna studera också insekter och fladdermöss. Det finns en öppning mellan provsektionen och luftmunstycket så att forskarna lätt kan komma åt det flygande djuret. Tunneln kan också lutas för att simulera stigande och glidande flygning. Lutningen kan varieras mellan 8 grader neråt och 6 grader uppåt. Provsektionen är 120 cm bred och 108 cm hög. Luftens hastighet kan varieras kontinuerligt upp till 38 m/s.

Fåglarna tränas att sitta på en rörlig pinne i centrum av provsektionen. När pinnen sänks börjar fågeln flyga. För att hjälpa fåglarna att flyga på samma plats användes en klart synlig ljusmarkering uppströms provsektionen. När fågeln flyger stabilt så att en mätning kan göras belönas den genom att pinnen höjs så att den kan landa. Hastigheten är normalt 4-9 m/s. Insekter kan limmas fast på en stav eller tränas att flyga vid en födokälla i form av en konstgjord blomma.

I vindtunneln kan forskarna observera fågeln medan den flyger i kontrollerade förhållanden. Med höghastighets videokameror kan man registrera detaljer i vingarnas rörelse, kroppens accelerationer och dynamiken hos vakarna. De krafter vingen genererar för att hålla fågeln i luften återspeglas i vaken bakom fågeln. För att studera vakströmningen i detalj används en metod, som kallas PIV (particle image velocimetry). Metoden innebär att vattenånga sprutas in i luften. Ångpartiklarna illumineras med laser och och fotograferas med höghastighetskamera. Från

två på varandra följande bilder kan luftens rörelse mätas upp. Därur kan man sedan beräkna de aerodynamiska krafterna och till exempel effektivitet hos den flygande.

Det första PIV-systemet installerades år 2000 för att studera vakarna från ett antal fåglar och en art av fladdermöss. Ett nytt system installerades 2008. Det kan registrera strömningen 200 gånger i sekunden i tre dimensioner. Utrustning finns för filmning i både infrarött och vanligt ljus.

## *”Många problem återstår att lösa när det gäller flaxande flygning”.*

Aerodynamiken kring en flaxande vinge mycket komplicerad och mer forskning krävs för att förstå den fullt ut. Även om man skulle förstå hur aerodynamiken fungerar så innebär det stora utmaningar att göra mekaniska system med samma prestanda som de levande förebilderna. Bland annat framkantsvirvlarna som ger en stor höjning av lyftkraften torde kräva en flexibilitet hos vingen som är svår att åstadkomma med mekaniska material.

Även den rena mekaniken är besvärlig. I vissa fall gör en insekt vingslag av 160 grader med en rotation av 90 grader mer än hundra gånger i sekunden. Alla flygande varelser har mycket flexibla och lätta vingar och en mycket stark och lätt kropp. Som en jämförelse så kan en människa normalt prestera 3 W/kg kroppsvikt. En fågel ligger på ungefär 20 W/kg och insekterna ändå mycket mera.

Piezoelektriska material reagerar på elektrisk ström genom rörelse. De kan avge stora krafter och kan kanske användas för att röra vingarna på samma sätt som muskler. Ett annat problem är att hitta en tillräckligt kompakt kraftkälla. Vingar täckta med fotoelektriska material har för liten area. Batterier kan ge kraft för korta flygningar men är ännu för

tunga om de ska verka längre än några minuter. Flyttfåglar kan däremot flyga nonstop i mer än 10 000 km, vilket är långt mer än någon mänskligt producerad farkost av samma storlek. Verkningsgraden (förhållandet mellan producerad mekanisk effekt och intagen effekt genom föda) beror på flyghastighet och kroppsvikt men ligger för en fågel omkring 20%. Mikrogasturbiner drivna med väteperoxid och fotogen kan kanske vara lösningen.

Ett ännu större problem är styrningen. Ingen har ännu konstruerat en lika kraftfull styrdator som en fågels hjärna och nervsystem. Man kan till exempel se att flygande varelser ändrar vingarea, anfallsvinkel och krökning av vingen när hastigheten varierar men man vet inte hur de känner av vad som händer i strömningen över vingen och hur de använder detta för att bibehålla fördelaktiga förhållanden i strömningen. Många problem återstår alltså att lösa.

## Referenser från Lund

- [1] P. Henningsson, A. Hedenström, "Aerodynamics of gliding flight in common swifts", *The Journal of Experimental Biology* 214, 382-393, (2011).
- [2] P. Henningsson, G. R. Spedding and A. Hedenström. "Vortex wake and flight kinematics of a swift in cruising flight in a wind tunnel.", *The Journal of Experimental Biology* 211, 717-730 (2008)
- [3] P. Henningsson, F. T. Muijres, A. Hedenström. "Time-resolved vortex wake of a common swift flying over a range of flight speeds", *J. R. Soc. Interface* (2011) 8, 807–816.
- [4] A. Hedenström, L. C. Johansson, M. Wolf, R. von Busse, Y. Winter, G. R. Spedding. "Bat Flight Generates Complex Aerodynamic Tracks". 11 MAY 2007 VOL 316 SCIENCE [www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org).
- [5] Florian T. Muijres, L. Christoffer Johansson, Melissa S. Bowlin, York Winter, Anders Hedenström. "Comparing Aerodynamic Efficiency in Birds and Bats Suggests Better Flight Performance in Birds". Published: May 18, 2012. DOI: 10.1371/journal.pone.0037335 <http://www.plosone.org>.
- [6] Anders Hedenström. "Aerodynamics, evolution and ecology of avian flight". *TRENDS in Ecology & Evolution* Vol.17 No.9 September 2002.
- [7] L. Christoffer Johansson, Sophia Engel, Almut Kelber, Marco Klein Heerenbrink & Anders Hedenström. "Multiple leading edge vortices of unexpected strength in freely flying hawkmoth". 20 November 2013. *SCIENTIFIC REPORTS* | 3 : 3264 | DOI: 10.1038/srep03264.
- [8] F. T. Muijres, L. C. Johansson, R. Barfield, M. Wolf, G. R. Spedding, A. Hedenström. "Leading-Edge Vortex Improves Lift in Slow-Flying Bats". Downloaded from [www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org), February 29, 2008.
- [9] Florian T. Muijres, L. Christoffer Johansson and Anders Hedenström. "Leading edge vortex in a slow-flying passerine". *Biol. Lett.* published online 14 March 2012.

## Hur det kanske började

Det enklaste sättet att flyga är att driva med vinden. Från början användes det troligen av spridande frön, men med tiden har flera djur utvecklat denna förmåga, som insekter och spindlar. De kan hittas flygande flera tusen meter upp. Vissa spindlar spinner en silkestråd, som med hjälp av elektrostatisk repulsion och luftströmmar kan lyfta dem.

Glidflygning definieras som ett fall i en flack vinkel till horisontalplanet. Det finns många djur med denna förmåga. Merparten av dem finns i Sydostasien, kanske beroende på att skogarna där är glesare.

Ormar kan förlänga sin glidbana ner till marken med slingrandet av sin kropp. Paradissnoken, som lever i södra Thailand, Malaysia, Borneo, Filippinerna och på Sulawesi är den orm som har störst glidförmåga. Den spänner ut revbenen, vilket plattar till kroppen och gör buken konkav, samtidigt som den slingrar sig i luften vilket ger den viss lyftkraft. Det finns observationer att den har glidflugit upp till hundra meter och gjort 90° svängar i luften.

Vinglösa arbetsmyror har viss förmåga att manövrera i luften. De utgör ett unikum då de är de enda kända insekterna som kan glidflyga utan vingar och de enda djuren som glidflyger baklänges.

Så kallade flygfiskar kan också

glidflyga. Merparten är havslevande, små till medelstora fiskar. Den största flygfisken kan bli uppåt 45 cm, men flertalet är mindre än 30 cm. Innan fisken lämnar vattnet ökar den hastigheten och när den bryter havsytan, så kan den uppnå hastigheter på 60 km/h.

De glider ofta upp till 30–50 meter, men vissa arter har setts tillryggälägga hundratals meter, genom att låta uppåtvindarna som bildas vid vågkanten ge dem extra lyftkraft. Vissa fiskar kan också förlänga flykten genom att vispa med stjärten mot vattenytan, likt en åra, vilket ger ytterligare kraft.

Förmåga till glidflykt har utvecklats hos gamla världens trädgrodor och hos nya världens lövgroddor. Ett flertal arter inom familjen trädgroddor har utvecklat anpassningar för glidflygning, främst förstörade membran mellan tårna. Kinesisk flyggroda kan manövrera i luften, antingen rullar den in i en sväng, det vill säga vrider sig runt sin egen längdaxel eller också vrider den sig runt sin vertikallaxel.

Flyggeckoödlor är ett ödlesläkte med cirka fem arter som förekommer i Sydostasien. Dessa arter har skinnflikar utmed sina lemmar, överkropp, stjärt och huvud vilket gör att de kan glidflyga.

Flygdrakar är ett ödlesläkte, som förekommer på Sri Lanka, i Indien och Sydostasien. De är

trädlevande och kan glidflyga upp till sextio meter och under en sådan flygning tappar de bara cirka tio meter i höjd.

Deras flygmembran är uppspänt med hjälp av specifika avlånga ribbor, vilket är ovanligt. Vanligtvis är flygmembranet hos glidflygande ryggradsdjur fastsatt på djurets lemmar, som ben eller tår. När dessa ödlor spänner ut dessa ribbor bildas ett halvcirkelformat segel på bägge sidor om kroppen, vilket kan vikas ihop intill kroppen som en solfjäder.

Alldeles speciella är vissa bläckfiskar, som utnyttjar en form av jettdrift för att öka sin glidförmåga. Flera oceanlevande bläckfiskar hoppar upp ur vattnet och glidflyger för att undkomma predatorer. Mindre bläckfiskar flyger i stim, och har observerats tillryggälägga avstånd på upp till femtio meter. De lämnar vattnet genom att spruta ut vatten och kan fortsätta spruta vatten under luftfärden.

Vissa mycket små insekter som nyttjar fallskärmsliknande flykt har inga vingar i egentlig mening utan simmar i luften med borstliknande extremiteter. För dem känns det förmodligen som när vi simmar i vatten. Många varelser har faktiskt vingar eller vingliknande strukturer för att "flyga" genom vatten.

Ref: [Flygförmåga hos djur – Wikipedia](#)



# Spindlar driver med vinden

**Det enklaste sättet att flyga är att driva med vinden. Ett stort antal små djur, främst leddjur (till exempel insekter och spindlar), transporteras upp i atmosfären genom luftströmmar och kan hittas flygande flera tusen meter upp. [How Spiders 'Fly' Hundreds of Miles - Live Science](#)**

Flygande djur finns överallt. Fjärilar dansar i parkerna och måsar svävar över vattnet. Även mitt i natten fladdrar insekter genom mörkret medan fladdermöss försöker fånga dem. I några delar av världen tar sig mycket underliga varelser upp i luften, flygande grodor, ormar och ödlor, till och med fiskar. Men dessa djur kan bara glida en kort sträcka. De har inga riktiga vingar och kan egentligen inte flyga. Fåglar och fladdermöss är däremot riktiga flygare.

Men varför alls flyga. Skälet är att det är praktiskt. Ett flygande djur behöver inte tränga sig fram genom tät skog eller klättra uppför branta berg utan kan ta sig direkt till sitt mål. Att flyga är också bra för att undkomma angripare. En fågel eller insekt som anfalls på marken kan flyga iväg. Flygande djur kan också ha sina bon i säkerhet högt ovanför marken. De kan dessutom hitta mat där ingen annan kan göra det.

Men flygning har också nackdelar. Det kräver mycket energi. Flygande djur måste ha mycket mat. De behöver energirik föda som frön och kött. De klarar sig inte på löv och gräs. Flygare måste också vara lätta och de måste ha mycket muskler för att kunna lyfta. För stora djur krävs extremt stora vingar, vilket sätter en gräns för storleken. Även de största fåglarna väger inte mer än tio kilo. En människa skulle behöva trettio meters vingar för att flyga.

Det finns däremot ingen riktig minsta storlek för att bli luftburen. Det enklaste sättet är att driva med vinden. Mycket små djur kan föras upp av vinden. Det finns faktiskt många bakterier som flyter omkring i atmosfären. De drivs inte av muskler utan snarare av yttre aerodynamiska energikällor som vind och stigande termik. Jordens statiska elektriska fält kan också ge lyftkraft i vindlösa förhållanden. Flygningen kan fortsätta så länge som källan till extern kraft är närvarande.

Luftplankton är små livsformer som flyter och glider i luften och bärs av luftströmmar. De flesta luftplankton är mycket små, nästan mikroskopiska i storlek, och många kan vara svåra att identifiera på grund av detta. Forskare kan samla dem för studier i nät från flygplan, drakar eller ballonger. De består av många mikrober, inklusive virus, cirka tusen olika bakteriearter, cirka fyrty tusen svamparter och hundratals arter av alger och mossor, som lever en del av sin livscykel som plankton, ofta som sporer, pollen, och vindspridda frön.

Ett stort antal små djur, främst leddjur (till exempel insekter och spindlar) transporteras också upp i atmosfären genom luftströmmar och kan hittas flytande flera tusen meter upp. Många spindelarter använder medvetet vinden för att driva omkring. Spindeln hittar en utsiktspunkt som en gren eller ett staket, lägger sig med buken uppåt och skjuter ut fina trådar av silke. Silket hårdar och mer dras ut från spindeln när vinden fångar det. Så småningom är kraften som utövas av luften på silkestråden tillräckligt stor för att lyfta upp spindeln i luften. Sådana spindlar kan driva många mil. Spindlar har hittats vid atmosfäriska prov som samlats in från ballonger fem kilometer över jorden och av fartyg mitt ute i havet. De flesta flygningar slutar efter bara några meter, men seglare har rapporterat spindlar fångade i skeppets segel över 1600 kilometer från land.

Det antas allmänt att de flesta spindlar tyngre än 1 milligram sannolikt inte flyger. Eftersom många individer dör under flygningen är det också mindre troligt att



vuxna flyger jämfört med unga spindlar. Unga spindlar behöver sprida sig för att förbättra sin chans att överleva. De vill inte konkurrera med sina föräldrar och syskon så de måste "komma undan". Vuxna spindelhonor, som väger mer än 100 milligram och med en kroppsstorlek på upp till 14 mm har emellertid observerats flyga med hjälp av stigande varmluft under heta dagar utan vind. Dessa spindlar använder tiotals till hundratals silkesband, som bildar ett trekantigt ark med en längd och bredd på cirka en meter. Silket kan också användas av en vindbläst spindel för att förankra sig för att stoppa resan.

Avstånden som dessa trådar kan ta spindlarna kan vara stora, vilket observerades redan av Charles Darwin, som en klar novembermorgon 1832 stod på Beagles däck och tittade uppåt. Tusentals små spindlar flög genom luften fästa vid bitar av spindelnät och landade på fartygets rigg. Beagle seglade omkring hundra kilometer från Sydamerikas östkust och Darwin trodde att spindlarna hade flugit åtminstone så långt. Spindlar på silkestrådar har hittats tusentals meter ovanför de hawaiiiska öarna, den yttersta ön gruppen på jorden. Vissa kvalster och vissa larver använder också silke för att sprida sig genom luften.

Spindlar är viktiga rovdjur av insekter och kan minska behovet av att bönder sprutar stora mängder bekämpningsmedel. Bättre förståelse för hur spindlar reser långa avstånd kan hjälpa forskare att kontrollera jordbrukets skadedjur. Man har funnit att den tidigare modellen för spindelflygning - som antog att spindelsilket är stelt och rakt och spindlarna bara hänger i botten - var bristfällig när den applicerades i rörlig, turbulent luft. Forskare vidareutvecklade därför modellen för att möjliggöra elasticitet och flexibilitet i spindelns draglinje, dess mest robusta silkelinje som används för att bära den. När draglinjen fångas i en turbulent bris blir den mycket förvrängd, fångar luft som en öppen fallskärm och skickar spindeln på en okänd resa. Med denna matematiska modell hoppas man kunna undersöka hur mänsklig aktivitet, som jordbruk, påverkas av spridningen av spindelpopulationer.

## Glidflygande ormar och andra djur

**Glidflygning är ett relativt billigt sätt att flyga. Ett antal djur har utvecklat glidande. Förutom däggdjur och fåglar glidflyger också andra djur, särskilt flygande fiskar, ormar, grodor och bläckfiskar. Stora fåglar är särskilt skickliga vid glidning. En albatross har en glidförmåga som närmar sig ett modernt segelflygplans.**

Istället för att fågeln aktivt lägger ner energi genom att flaxa med sina vingar, tas energi för glidflygningen i stället från den potentiella energin. Det betyder att fågeln kommer att förlora höjd när den flyger framåt, och om den inte återupptar flaxning kommer den att hamna på marken.

För långvarig flygning kräver glidning i allmänhet vingar såsom vingarna på flygplan eller fåglar. Men några djur som den flygande ormen kan uppnå glidflygning utan några vingar genom att skapa en plan yta under sig.

För att förbättra glidförmågan har vissa däggdjur utvecklat en struktur som kallas patagium. Det är en membranstruktur som sträcker sig mellan ett antal kroppsdelar. Den är mest utvecklad hos fladdermöss. Hos dem är huden som bildar vingytan en förlängning av bukens hud, som förenar frambenet med kroppen.

Andra däggdjur som flygande ekorrar glider också med ett patagium, men med mycket sämre effektivitet än fladdermöss. De kan inte ta höjd. Djuren kastar sig från ett träd och sprider sina lemmar för att exponera glidmembranen, vanligtvis för att komma från träd till träd. I regnskogar är detta ett effektivt sätt att lokalisera mat och undvika rovdjur. Denna form av "arboreal lokomotion" är vanligt i tropiska områden som Borneo och Australien, där träden är långa och skogen tät.

Glidflygning har utvecklats självständigt bland 3400 arter av grodor från både nya och gamla världen. Denna parallella utveckling är en anpassning till deras liv i träd, högt över marken. Egenskaperna inkluderar förstörade händer och fötter, hud mellan fingrar och tår och hudflikar på armarna och benen.



Ormar av släktet Chrysopelea är kända som "flygande ormar". Innan start från en gren böjer sig ormen i J-form och när den knuffat sig upp och bort från trädet suger den in buken och trycker ut revbenen för att forma sin kropp till en "pseudo-konkav" vinge. Under glidningen nedåt gör den hela tiden en kontinuerlig snedgående vridning av kroppen parallellt med marken. Flygande ormar kan glida bättre än flygande ekorrar och andra glidande djur, trots bristen på lemmar, vingar eller andra vingformiga utsprång. De kan glida hundra meter genom skogen och djungeln.

Flygfiskar seglar typiskt omkring femtio meter och de kan använda uppdriften av luft vid framkanten av vågor för att nå avstånd på upp till 400 m. För att glida uppåt ur vattnet svänger en flygfisk stjärten upp till 70 gånger per sekund. Den sprider sedan sina bröstfenor och lutar dem lite uppåt för att ge lyft. I slutet av en flygning viker den ned sina bröstfenor för att åter komma ned i havet, eller sänker



stjärten i vattnet för att lyfta sig i en ny glidning eller eventuellt ändra riktning. Den vinklade profilen av "vingen" är jämförbar med den aerodynamiska formen hos en fågelvinge. Fisken kan öka sin tid i luften genom att flyga rakt in i eller i vinkel mot uppdraget, som skapas av en kombination av luft- och havsströmmar.

Fåglar använder ofta glidflygning för att minimera sin energianvändning. Liksom segelflygplan kan fåglar stiga i uppåtgående luft. Den stora fregattfågeln i synnerhet kan segla omkring upp till flera veckor i sträck.

Förhållandet mellan lyftkraft och motstånd eller L/D är ett av de viktigaste målen för flygplansdesign eftersom det talar om hur många meter ett flygplan glider när det faller en meter. Ett högt glidtal L/D ger bättre bränsleekonomi. Ett modernt segelflygplan närmar sig 60 men normalt har ett trafikflygplan under 20. Albatrossen ligger på 40 och en seglande gam på 25.



De flesta fåglar har dock lägre prestanda. I vindtunnlar vid Lunds Universitet är det möjligt att studera djurs kinematik och aerodynamik till en detaljnivå som annars skulle vara omöjlig. Man har bland annat gjort experiment på glidflygning av kajor över ett brett spektrum av flyghastigheter. Ett linjärt förhållande mellan vinge och flyghastighet hittades, i motsats till vad som förväntas för att minimera motstånd. Bästa glidningsprestanda hittades vid 8,5 m/s med ett L/D på 12,6. Även glidflygningen av svalor har studerats i vindtunneln. De hade L/D på 12,5 vid en flyghastighet av 9,5 m/s. Som en jämförelse ligger en flygfisk på L/D=15, en fladdermus på 5 och den flygande ormen på 3,7. En hang-glider ligger mellan 5 och 10.

[Gliding flight in birds | Department of Biology](#)

## Insekter-hur de flyger och navigerar

Insekter var de första djuren att utveckla förmåga till aktiv flykt och också de enda ryggradslösa djur som har denna förmåga.

Forskare har försökt lösa mysteriet med hur insekter flyger genom att bland annat studera myggor med hjälp av super höghastighets kameror och datoranalys. Att förstå de unika mekanismerna som insekten använder för att hålla sig luftburen kan ha betydelse för framtida aerodynamiska innovationer, inklusive småskaliga flygande farkoster.

Insekter har faktiskt två olika sätt att flyga. Hos alla ryggradsdjur och många insekter, såsom fjärilar, styrs vingslagen direkt av nervsystemet. Denna mekanism kallas synkron flygning eftersom varje vingslag genereras av en enda nervimpuls - på samma sätt som människor och alla däggdjur rör sina lemmar.

Synkron flygning fungerar bra för fåglar, fladdermöss och större insekter, men verkar inte fungera för kroppsstorlekar som är mindre än en humlas. Under denna storlek blir frekvensen av vingslag som krävs för att stödja flygningen ohållbar - det är fysiskt omöjligt att utlösa muskelsammandragningarna tillräckligt snabbt. Detta begränsar den maximala vingfrekvens till cirka 100 MHz.

Vissa insekter har därför utvecklat en helt annan mekanism för att kontrollera vingslag. Denna mekanism kallas asynkron flygning och involverar underordnade muskler som aktiverar den primära flygmuskeln på ett sätt, som ännu inte är helt förstått,

men som innebär att snabba sammandragningar kontrolleras av resonans mellan vingen och insektens bröstorg.

Asynkron flygning gör svävning och andra aerodynamiska bedrifter, som att flyga bakåt, lättare att uppnå. På mindre än en hundraedels sekund undviker en fruktfluga en angripare. De kan lägga sig i så kraftiga svängar att de under kort tid nästan flyger på rygg. Det har också gjort det möjligt för insekter att minska sin storlek och att utnyttja lokala och övergående tryckförändringar i luften för att öka lyftet.

Asynkron flygning kan vara en nackdel för större insekter med relativt långsamma vingslag. Stora långhornbaggar, till exempel, som använder asynkrona flygmuskler, som alla skalbaggar, är mycket klumpigare i luften än andra stora insekter med synkron flygning. Båda metoderna har fördelar och nackdelar och asynkron flygning är inte i sig överlägsen. Insekter med synkrona flygmuskler, som fjärilar, kan svänga sina vingar på olika sätt, och vissa kan hålla sina vingar horisontella under en lång sträcka, förmodligen utan att spendera mycket energi.

Fjärilar kan dock inte flyga om deras vingar blir för varma. När fjärilar sprider ut sina spektakulära vingar under soliga dagar är det inte för att visa upp dem. Att sprida ut dem i solen gör att vingarna värms upp efter att de har kylts av cirkulerande luft under flygning.

Även om det finns ett allmänt samband mellan insektsstorlek och vingslagfrekvens, har ho-

nungsbiet ett mycket snabbare vingslag än vad man skulle kunna förvänta sig. Honungsbin använder ett vingslag med kortare amplitud men högre frekvens än andra asynkrona insekter av samma storlek för att kunna bära nektar eller larver. Bin är intelligentare än man tror. De kan skilja på färger och de kan räkna till noll.

Forskare har också bevisat att det finns en optimal hastighet för vissa insekter när de flyger. Vid denna hastighet är de mest effektiva och förbrukar minst energi. Motsvarande fenomen har tidigare visats hos fåglar, men aldrig bland insekter.

Insekter flyger inte heller omkring på måfå. En stor internationell studie ledd av forskare från Lunds universitet i Sverige har för första gången bevisat att vissa nattliga migrerande insekter kan navigera med jordens magnetfält. Hittills var förmågan att styra flygning med hjälp av en inre magnetkompass endast varit känd hos nattliga flyttfåglar.

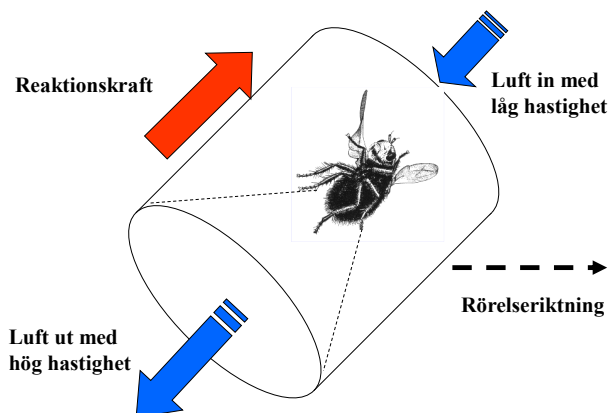
Genom studera markhäckande getingar försöker man hitta hemligheten bakom getingars förmåga att navigera och vill kunna använda den för att stödja den framtida utvecklingen av drönare. Moderna autonoma drönare måste vara lastade med högupplösta kameror, GPS radiopparater och en massa andra högteknologiska prylar för att veta var de är och vart de är på väg. Getingar, å andra sidan, behöver bara sina sammansatta ögon och en daglig rekognoseringsflygning.



## Varför vi aldrig lyckades flyga som insekter

Bevingat Nr4/2004. Ulf Olsson.

Bind fast en fluga i ett rör så får du en "flugmotor".



Flygning medför många fördelar. Det första historiskt dokumenterade försöket att flyga tycks ha gjorts av en viss Simon i Rom, till yrket magiker. Simon försökte demonstrera sina yrkeskunskaper genom att hoppa från ett torn med hemgjorda vingar och krossades framför Kejsar Nero. Av vad vi vet om sagde kejsare, är det troligt att han uppskattade det.

Ett försök liknande Simons gjordes på 1000-talet av Oliver av Malmesbury, en engelsk benediktinermunk. Enligt annalerna lyckades han glidflyga 125 steg innan han tog mark och bröt benen. Han lär ha gjort sitt försök mot vinden, vilket tyder på att han hade något begrepp om vad han höll på med.

På 1300-talet hade en italiensk matematiker, Giovanni Dante, en viss framgång. Från det högsta tornet i Perugia segelflög han över stora torget. Han lyckades hålla sig i luften en stund men tyvärr skadade han ena vingen, kraschade mot katedralen och bröt benet. Efter att ha tillfrisknat gav han upp flygningen och blev matematiklärare i Venedig.

Den kanske mest kände av de tidiga pionjärerna var den store italienske konstnären och vetenskapsmannen Leonardo da Vinci (1452-1519). I hans efterlämnade papper finns mer än 500 utkast till flaxande flygmaskiner-hand eller fotdrivna. Som tur var försökte aldrig Leonardo omsätta sina ideer i verkligheten för det hade säkert äventyrat livet på en av mänsklighetens största genier.

Försöken att flyga med flax kulminerade 1870 när fransmannen Gustave Trouvé flög 70 meter i en flaxande maskin med en krutdriven förbränningsmotor. Det var det slutliga resultatet av många hundra års fruktlösa försök. Det krävs nämligen mycket mer för att flyga än man visste på den tiden.

Vad man försökte under alla dessa år var att flyga som insekter. Det gäller att använda sig av reaktionskraften. En

brandman som sprutar på elden känner av en kraft bakåt från slangen och om man fyrar av ett gevär får man ett slag på axeln, en rekyl. Newtons ekvation att kraften från en stråle är lika med massflödet multiplicerat med strålhastigheten är antagligen den viktigaste ekvationen i världshistorien. Det är den som gör att vi kan flyga.

På 400-talet uppfanns en flygande leksak i Kina i form av en liten helikopter med en propeller, som kunde fås att rotera med ett upplindat snöre. När propellern blåste luften neråt uppstod en reaktionskraft som lyfte det hela. Insekterna lärde sig samma sak redan för 300 miljoner år sedan.

Om man tänker sig att man binder fast en fluga i ett rör så får man en luftandande reaktionsmotor en s k jetmotor. Nu strömmar luft in i motorn med flyghastigheten och lämnar den med den högre strålhastigheten. I en verklig jetmotor ökar man luftens hastighet genom att elda fotogen i den. Enligt Newtons ekvation blir dragkraften massflödet multiplicerat med skillnaden mellan hastighet ut och hastighet in. Detta innebär att en jetmotor aldrig kan flyga fortare än sin strålhastighet. En raketmotor kan däremot flyga hur fort som helst eftersom den alltid ger dragkraft. Jetmotorn kan dessutom bara fungera i luften medan raketerna kan flyga även i tomma rymden. Fördelen med jetmotorn är att den använder luften som stråle medan raketerna får bära med sig alla sina drivmedel. Den blir därför stor och klumpig jämfört med flygplanet.

En annan sak som skiljer raketerna från flygplanet är vingarna. Det är en stor skillnad mellan hur flygplanet använder vingarna och hur insekterna gör det. För insekterna är vingarna ett sätt att pumpa luft. De blåser en stråle nästan rakt nedåt (ca 70 grader mot horisontalen) och faller sedan framåt på strålen. Det är som en jetmotor som ställer sig på tvären i luften.



Observera att enligt Newtons ekvation är kraften lika med flödet gånger strålhastigheten. En del insekter som t ex fjärilar använder högt flöde och låg hastighet. De måste då ha stora vingar, vilket ger dem en fladdrig flykt. De kan lätt blåsa bort i vinddraget. Man säger att de har en låg vingbelastning dvs låg vikt per m<sup>2</sup> vingyta. Flygplan med låg vingbelastning är också känsliga för t ex turbulens i luften.

De flesta insekter föredrar därför hög vingbelastning. Men då blir flödet lågt och hastigheten måste bli stor. Det ger en stabilare flykt och högre flyghastighet eftersom denna är direkt proportionell mot strålhastigheten. Alltså måste vingarna röra sig mycket fort och 200 slag per sekund är inte ovanligt på bin och humlor. Det finns små insekter som kommer upp i 1000 slag per sekund.

För att åstadkomma så höga hastigheter är vingen upphängd i ett ryggskal och ett magskal förbundna med muskler. Dessa muskler är inte av samma slag som våra utan liknar mer vibrerande strängar. När de vibrerar rör sig vingarna med deras frekvens. Insekter har därför svårt att variera frekvensen och utslaget på vingarna. De är på sätt och vis biologiska maskiner. Det är lätt att förstå att insekter har ett jobbigt sätt att flyga.

När insekten pumpar luften neråt, tas reaktionskraften upp som en tryckskillnad över vingarna och detta tryck lyfter insekten. När vingen slås ner utsätts den för ett övertryck på undersidan lika med det s.k. dynamiska trycket. Teoretiskt är det ett lika stort undertryck på översidan av vingen som övertryck på undersidan så att tryckskillnaden är dubbla det dynamiska trycket. I verkligheten sker det alltid ett läckage från under till översida så att den s k lyftkraftskoefficienten är mindre än 2.

Denna lyftkraft ska balansera insektens vikt. Om man väger och mäter en humla visar det sig att den behöver en lyftkoefficient i närheten av två för att kunna flyga. Men koefficienten för stillastående insektsvingar i vindtunnlar är bara 0.6-0.9. Alltså borde inte en humla kunna flyga. Att den

ändå gör det beror på att den har utvecklat en mycket komplicerad aerodynamik. Man har kommit fram till att insekter använder tre eller fyra olika tekniker samtidigt för att öka sin lyftkraft.

När man ökar vinkeln på en vinge som skär genom luften så ökar lyftkraften men bara upp till en viss gräns. Sedan släpper den strömmande luften på översidan av vingen. Denna avlösning leder till en snabbt minskad lyftkraft. Det kallas "stall" och har orsakat många flyghaverier. Insekterna lyckas emellertid åstadkomma en virvel över framkanten på vingen, som suger tillbaka luften mot ytan och minskar risken för stall och ökar lyftkraften.

En annan teknik liknar den tennisspelare använder för att genom underskrub få bollen att gå längre eller en fotbollsspelare som vill skjuta skruvade bollar. När insektsvingen närmar sig slutet på sitt slag genom luften roterar den baklänges och åstadkommer en underskrub, som ökar lyftkraften.

När vingen rör sig genom luften bildas också virvlar bakom den. Genom att rotera vingen innan den börjar återgå kan insekten dra nytta av dessa virvlar för att ge extra lyftkraft. Den tar så att säga spjörn mot virvelpaketen.

En del små insekter men också malar och fjärilar har också en fjärde teknik som är mycket intressant. De slår ihop vingarna på ryggen och när de sedan snabbt för isär dem bildas ett vakuum på översidan så att lyftkraften ökar. Att tekniken inte används så ofta beror kanske på att även insekter kan få ont när de smäller ihop vingarna ett stort antal gånger i sekunden.

Bin har också en rad av hål längs undersidan av vingen. Där drar de in och blåser ut luft i takt med vingslagen för att öka tryckskillnaden över vingen. Vingarna gör ungefär 250 slag i sekunden hos ett arbetsbi och 190 hos en drönare. Det är detta som åstadkommer det vinande ljud, som hörs från ett bi.



Trollsländorna är kanske de mest intressanta av alla insekter. De tycks också vara bland de äldsta och var förr mycket större än idag. Dinosaurierna kämpade med trollsländor med vingbredd upp till 70 cm. De är rovdjur och kan förflytta sig blixtnabbt i sidled, vilket tyder på att de kan uppnå mycket höga dragkrafter.

Trollsländan är intressant eftersom den har två vingpar som arbetar i motfas. När det ena vingparet går ner, går det andra upp. Man har visat att detta inte ger någon extra lyftkraft utan snarare tvärtom. Det skulle ge större lyftkraft att låta båda vingarna röra sig samtidigt. Faktum är att insekter från början var formade som trollsländan men andra insekter har under årmiljonernas lopp gått ifrån den formen. Att trollsländorna behållit den har troligen att göra med deras roll som rovdjur. Motrotation ger en stabilare flykt och därmed större precision i jakten.

En annan intressant sak med trollsländorna är att de också har utpräglade refflor över främre delen av vingen. Sådana experimenterar man nu med i flygplan för att minska motståndet på vingar. Alla känner ju till att en skrovlig golfboll går längre än en slät beroende på att turbulensen från refflorna suger ner strömningen mot ytan. På segelflygplan klistrar man en tejp längs vingen för att fördröja avlösning- en och hajar har skrovligt skinn av samma orsak.

Det är lättare att flyga när det är kallt och lufttäteten hög. Den nedåtvispade luften ger högre lyftkraft när den är tung. Det gäller inte bara för insekter utan också för flygplan. Det kräver därför också mer kraft att flyga högt där tätheten är låg. Insekter har observerats upp till 1000 m men det finns tydligen en gräns för hur högt de kan flyga.

Varför är insekter så små? Jo, det finns en naturlag som gör att saker aldrig kan bli hur stora som helst. Den säger att arean ökar med längden upphöjt till två men volymen och vikten ökar med längden upphöjt till tre. Det kallas två-tredjedelslagen och som vi ser leder det till att om insekten skalas upp så ökar vikten snabbare än arean på vingarna så att insekten måste arbeta hårdare. Storleken bör därför vara så liten som möjligt för att minska ansträngningen. Den är ju begränsad av vad insektens muskler kan prestera och det är inte hur mycket som helst. Därför finns det en gräns för hur stora insekter kan bli. Tursamt nog för oss är den gränsen långt från vår egen storlek. Intressant nog så skulle insekterna kunna bli mycket större på Mars där gravitationen är lägre än på jorden.

Men även med en mycket avancerad aerodynamik behövs det stor kraft för att kunna flyga. En humla måste prestera ungefär 50 W/kg kroppsvikt. Det är ingenting för kolibrin, som är den enda fågeln som använder insekternas sätt att flyga. Den kan klara 300 W/kg tung som den är jämfört med en insekt. Om en människa skulle vilja flyga som en insekt måste man öka på den siffran ytterligare några magnituder.

När man vet att en människa kan klara 3 W/kg och trollsländan tio gånger så mycket så förstår man vilken otroligt kraftfull maskin den är och hur fruktlösa försöken att flyga som insekter var. Fåglarna hade emellertid utvecklat tekniker som gjorde det möjligt att flyga med mindre kraft. Det var när vi började förstå hur de gjorde som vägen till människors flygning öppnades. Men det är en annan historia.

## Hur myggor flyger

**Forskare har löst mysteriet med myggflygning med hjälp av super höghastighets kameror och datoranalys. Att förstå de unika mekanismerna som insekten använder för att hålla sig luftburen kan ha betydelse för framtida aerodynamiska innovationer, inklusive småskaliga flygande farkoster.**

**Science Says Mosquitoes Cannot Fly But Recently Found Out How ...**

Trots att man hade löst paradoxen att humlor inte borde kunna flyga med normal aerodynamik, så hade vetenskapen hittills inte kunnat förklara hur myggor lyckades slå med vingarna med så liten vinkel och ändå producera tillräcklig lyftkraft.

Många djur är beroende av Bernoulli-effekten för att kunna flyga. Bernoulli-effekten säger att vätsketrycket faller när hastigheten ökar. Bröderna Wright upptäckte denna effekt genom omfattande experiment i vindtunnel. De använde sedan vad de lärde sig när de byggde sitt första flygplan.

Flygplansvingar är formade för att tvinga luften att röra sig snabbare över vingens översida, vilket gör att lufttrycket där är mindre än det på vingens undersida. Skillnaden i tryck skapar lyftkraft, som bokstavligen trycker flygplanet uppåt för att motverka effekterna av tyngdkraften.

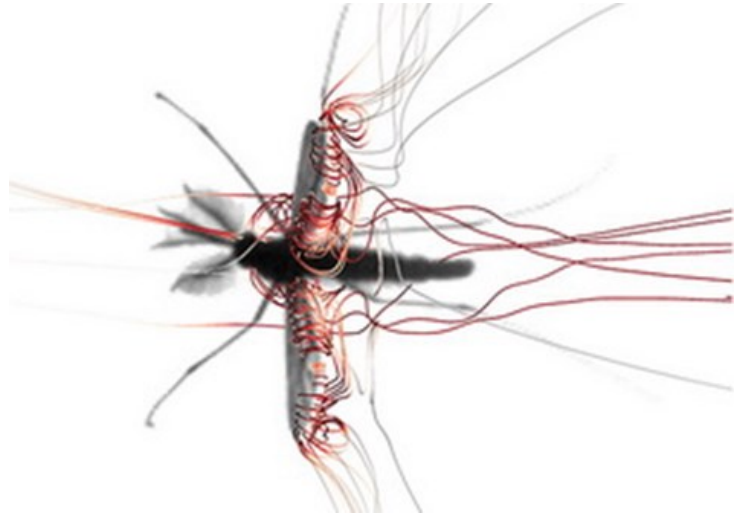
Denna mekanism används inte bara av flygplan, helikoptrar och fåglar, men också av de flesta insekter - men inte myggor överraskande nog. Myggor har små, nästan plana vingar, så de producerar väldigt liten lyftkraft enligt Bernoulli-effekten. Hur de ändå kan flyga har i decennier mystifierat entomologer (biologer som studerar insekter).

Myggor har onormalt långa, smala vingar och deras flygbeteende skiljer dem från andra insekter. De slår med dessa vingar fram och tillbaka cirka 800 gånger per sekund, mycket snabbare än någon annan insekt av jämförbar storlek, och för att kompensera för dessa snabba rörelser, är deras amplitud (vinkeln genom vilken vingen sveper) mindre än hälften av någon annan insekts. Myggor rör sina vingar med ett utslag på endast ca 40 grader.

Detta är fyra gånger snabbare än många insekter av samma storlek, vilket gör att de är mycket svåra att filma. Genom ett samarbete mellan Oxford Universitys Animal Flight Group, Royal Veterinary College och Chiba University i Japan lyckades man övervinna den tekniska utmaningen.

Man klarade det med hjälp av toppmoderna infraröda lysdioder, en anpassad belysningsrigg och åtta kameror. Normalt för att filma en insekt behöver man minst två kameror, eftersom man med två kameravyer kan ta någon punkt på en insekt och beräkna dess 3D-koordinater. Men på grund av problemen med myggornas antenner och ben behövde man åtta kameror bara för att säkerställa att man hade tillräckligt med kameravyer av myggan för att se vingarna klart. Tekniken, som tar 10 000 bilder per sekund, har inte använts tidigare vid insektsflygning.

Myggor visar sig använda tre aerodynamiska trick för att lyfta sin kroppsvikt. Den första av dessa är en främre vingvirvel, som skapar bubblor med lågt tryck längs framkanten av vingen. Den används av nästan alla insekter, men myggor har mycket lägre beroende av den än andra arter. De andra två är en bakkantsvirvel och ett rotationsmotstånd och dessa är specifika för myggor och de är beroende av de väldigt subtila och exakta vridningarna av vingen i slutet av varje vingslag.



***De röda strömlinjerna visar en virvel längs bakkanten som ger myggor ökad lyftkraft. Bild: Bompfrey / Nakata /***

Rotationsmotstånd kan beskrivas som extra friktion pga vridningen av vingen längs längdaxeln. Den bakre virveln är en ny form av "wake capture", där myggorna anpassar sina vingar till vätskeflödena de skapade under början av vingslaget. Vingarna vrids om i slutet av varje halvslag och återvinner då energi, som annars skulle gå förlorad.

Dessa nya aerodynamiska mekanismer hjälper till att förklara den ovanliga formen av myggornas vingar. Hos de flesta insekter ökar de aerodynamiska krafterna längre ut längs vingen, eftersom vingspetsen rör sig snabbare än vingroten. Genom att utnyttja aerodynamik som bygger på snabb vinkling av vingen kan myggorna producera kraft längs hela längden. För att detta komplexa system ska fungera kräver inte bara hårdvaran, inklusive vinge- och neuromuskulär design, utan även mjukvaran, i detta fall hjärnan för att koordinera rörelserna.

Det finns uppenbarligen fortfarande mycket att lära av flygande insekter. Naturen har ett till synes oändligt utbud av underverk som ännu inte kunnat upptäckas. Tekniken, som myggorna använder, skulle kunna inspirera innovationer av flygande farkoster i mikroskala i framtiden. Vi har små drönare, men vi har inget ner till storleken på en insekt och definitivt inte ner till storleken på en mygga där hela kroppen bara är några millimeter lång. Sådana små drönare skulle kunna användas för att flyga in i mycket små utrymmen t ex efter olyckor. Våra små drönare fungerar dåligt så snart det finns en antydning till vind då de är mycket svåra att kontrollera. Insekter klarar sig riktigt bra även under blåsiga förhållanden. Att förstå hur de klarar detta skulle vara fördelaktigt för oss i framtiden. Det skulle kunna stödja utvecklingen av aerodynamiska innovationer som småskaliga piezoelektriska manöverdon.



## Ny studie förändrar vår syn på flygande insekter

För första gången kan forskare bevisa att det finns en optimal hastighet för vissa insekter när de flyger. Vid denna hastighet är de mest effektiva och förbrukar minst energi. Motsvarande fenomen har tidigare visats hos fåglar, men aldrig bland insekter. Se [Material som](#) tillhandahålls av Lunds universitet,



Foto: Anders Hedenström

Tidigare studier av humlor har visat att de förbrukar lika mycket energi i framåtflygning, som när de svävar, dvs förblir hängande stilla i luften. Nya fynd från Lunds universitet i Sverige visar att detta inte gäller alla insekter.

Biologen Kajsa Warfvinge har tillsammans med sina kollegor vid Lunds universitet studerat de stora malarna, som kallas tobakssvärmare eller *manduca sexta*. Det är en fjärilsart, som beskrevs av Carl von Linné 1763. Utmärkande för den är att den har en sugsnabel, som är ungefär lika lång som dess egen kropp. Den syns upprullad på bilden.

Resultaten från Lund visar att dessa malar, liksom fåglar, förbrukar olika mängder energi beroende på flyghastighet. Att flyga riktigt långsamt eller väldigt snabbt kräver största möjliga ansträngning.

Upptäckten kan hjälpa forskare, som studerar hur insekter migrerar från en miljö till en annan. Resultaten kan användas indirekt för att förutsäga hur väl olika arter svarar mot förändrade temperaturer med tanke på global uppvärmning. Genom att veta hur mycket energi som behövs för att flyga med olika hastigheter, kan man beräkna hur långt och snabbt djuren kan flyga givet en viss mängd energi.

Experimenten utfördes i en vindtunnel. Med hjälp av en speciellt utvecklad teknik som kallas tomografisk PIV, kan forskarna registrera hur luften rör sig i tre dimensioner när to-

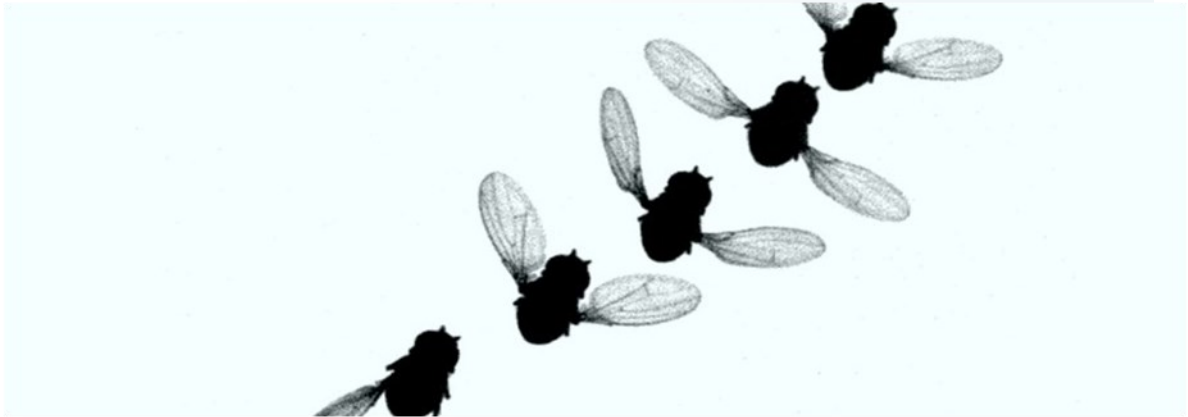
bakssvärmaren fladdrar med vingarna. Virvlarna, som lämnas i luften, kan ses som insektens aerodynamiska fotavtryck. Virvelstyrkan återspeglar den mängd kinetisk energi som tillförs luften av insekten och är i sig ett mått på hur mycket kraft den lägger ner på att flyga med olika hastigheter.

Resultaten visar att klassisk luftfartsteori kan tillämpas även på tobakssvärmare; det vill säga att det tar mycket energi att flyga långsamt (en meter per sekund), eftersom det är svårt att skapa lyftkraft vid dessa hastigheter. Detsamma gäller när insekter flyger snabbt (fyra meter per sekund), men här är det luftmotståndet som gör flygningen mindre effektiv från ett energiperspektiv.

Det visar att malar har samma U-formade förhållande mellan fart och kraft som fåglar och flygplan. Flyga långsamt eller snabbt är utmattande och kräver mer energi. Man kan säga att flyga med måttlig hastighet är optimalt. Den mest energieffektiva Hastigheten för dessa tobakssvärmare är 2-3 meter per sekund, enligt Kajsa Warfvinge.

Avsikten med och syftet med flygningen bestämmer emellertid vilken hastighet som är mest fördelaktig. Om malarna vill stanna i luften så länge som möjligt bör de behålla sin energi och hålla en hastighet på cirka 2,5 meter per sekund. Om målet är att flyga långt, bör de däremot öka sin hastighet till ca 4 meter per sekund. Trots luftmotståndet är detta den optimala hastigheten för långa avstånd.

## Flugor flyger som stridsflygplan



*Att fånga en fluga är inte så lätt. De kan rolla blixtnabbt i luften.*

På mindre än en hundra del av en sekund undviker en fruktfluga en angripare. De kan lägga sig i så kraftiga svängar att de under kort tid nästan flyger på rygg berättar forskare i tidskriften "Science", som fångat manövrerna med höghastighetskamera.

Flyktrörelserna är mycket snabbare än de tidigare mätta svängarna. Dessutom flyger flugorna på ett annat sätt än man hittills trott.

Höghastighetskameran tog 7500 bilder per sekund. Flugorna slår normalt 200 gånger per sekund med vingarna. Därför kunde man fånga varje vingslag med cirka 40 bilder. Man filmade med infrarött ljus för att inte blända flugorna.

I en cylinderformad behållare flög omkring 50 flugor. När någon av dem fångades av två laserstrålar projicerades en



kort film som föreställde en växande skugga på cylinderns väggar. Det verkade på flugorna som ett annalkande hot. Kameran fångade sedan flugornas rörelser för att undvika hotet.



Hittills har man utgått från att flugorna svänger runt en lodrät axel. I själva verket lade sig 80 procent av flugorna i en sväng med 90 graders lutning åt sidan. De höll denna vinkel oavsett om skuggan kom från sidan, bakifrån eller framifrån. En fluga med en hjärna stor som ett sandkorn har ett flygsätt som är väl så komplext som ett mycket större djur till exempel en fladdermus. Hur hjärna och muskler hos en fluga åstadkommer de snabba manövrerna är något som forskarna skall fortsätta att undersöka.

## Varma fjärilar kan inte flyga

När fjärilar sprider ut sina spektakulära vingar under soliga dagar är det inte för att visa upp dem. Att sprida ut dem i solen gör att vingarna värms upp efter att de har kylts av cirkulerande luft under flygning. Fjärilar kan dock inte flyga om deras vingar blir för varma.

Journal of Experimental Biology: [Kyler ner heta vingar](#)



Fjärilar måste därför övervaka temperaturen på sina vingar och hindra dem från att överhettas, antingen genom att sluta vingarna, luta kropparna för att ta upp mindre solljus eller flytta sig till en mindre solig fläck. För att förstå hur fjärilarna bestämmer när de ska sluta sola sig utvecklade ett team av forskare vid Columbia och Harvard universitet, USA en kamera, som var finjusterad för att se värmespektrumet som produceras av solen på ett tunt material som fjärilsvingar. De fann att de färgglada mönster, som vi ser på fjärilsvingar, är en del av berättelsen.

För att jämföra hur olika vingformer reagerade på värme studerade teamet mer än femtio fjärilsarter. De värmdes vingen på olika punkter med en sol-

imiterande laser och fann att alla fjärilar slutade att värma sig i laserljuset när temperaturen steg, oavsett deras vingform eller platsen som värmdes på vingen. Detta fynd antydde att värmekänsliga strukturer, som detekterar temperatur, är jämnt fördelade över vingen. Kameran visade också, vilket var väntat, att undersidan var svalare än översidan, vilket kan förklara varför fjärilar viker ihop sina vingar när de överhettas.

Dessutom avslöjade kameran att temperaturen kan variera enormt över en enda vinge, med så mycket som 15 ° C. Med hjälp av kameran såg man tydligt att venerna och de sensoriska strukturerna förblev svalare än membranet däremellan. Teamet antog att

denna skillnad i temperatur berodde på strukturen i fjällen, som täcker vingarna och som är viktiga för att känna av den omgivande miljön. För att testa denna teori avlägsnade de försiktigt fjällen och fotograferade vingarna igen med sin temperaturkänsliga kamera. Utan fjäll hade de flesta tidigare kalla delar av vingen nu samma varma temperatur som vingmembranet, medan andra svalare delar av vingen förblev svala på grund av det underliggande membranets tunnhet.

Vingarnas struktur, tillsammans med att aktivt undvika solen, gör att fjärilar kan hålla sig tillräckligt kalla för att flyga.

## Hur getingar navigerar.

### Forskare vill använda getingar för att förbättra drönare

Efter att ha tillbringat de senaste tio åren med att studera markhäckande getingar anser sig en forskargrupp från Australian National University (ANU) ha hittat hemligheten bakom getingars förmåga att navigera och vill kunna använda den för att stödja den framtida utvecklingen av drönare.

[Engadget](#)



Moderna autonoma drönare måste vara lastade med högupplösta kameror, GPS radioapparater och en massa andra högteknologiska prylar för att veta var de är och vart de är på väg. Getingar, å andra sidan, behöver bara sina sammansatta ögon och en daglig repetitionsflygning.

Forskarna använde höghastighetskameror för att spåra getingarnas ögonrörelser och från dessa data, räkna ut hur insekterna letade sig fram. Forskarna fann att då markhäckande getingar lämnar sina bon varje dag så flyger de längs en serie av ständigt ökande bågar innan de vänder tillbaka hemåt. Medan insekterna ökar höjd och avstånd är deras uppmärksamhet fokuserad på boet. Getingar förlorar aldrig sitt bo ur sikte.

Därefter använde forskarna dessa kunskaper för att testa specifika förutsägelser om vad getingar lär sig under sina inlärningsflygningar och hur de använder denna information för att navigera. Studierna visar att bågarna getingarna flyger följer ett anmärkningsvärt exakt mönster. När de stöter på en bekant vy på väg hem, flyttar de sig till vänster eller höger beroende på riktningen till boet i förhållande till vad de har sett. De verkar också att förlita sig på markens beskaffenhet nära boet för att vägleda dem.

Forskare flyttade en panoramakamera längs vägarna som flögs av getingar och byggde 3D-modeller av getingarnas miljö för att göra förutsägelser inom dessa modeller. De testade också sina förutsägelser genom att simulera målsö-

kande flygningar av getingar i virtuell verklighet. De fann att getingar gör mycket likartade manövrer i returflygningar som de gör under inlärning. Deras uppgifter tyder också på att getingar registrerar förändringar under inlärningsflygningar och använder skillnaderna de upplever i förhållande till tidigare för att avgöra när man ska börja en ny inlärningsbåge.

Resultaten visar hur underbart självständig, flexibel och robust getingarnas förmåga att känna igen omgivningen och manövrera i den är. Inlärnings- och navigeringsförmågan hos getingar gör dem smartare än något människor kunnat bygga. De delar denna fundamentalt viktiga förmåga med de flesta djuren på jorden.

Nästa steg är att undersöka hur slutsatserna när det gäller getingar kan förklara målsökande hos andra insekter, särskilt bin och myror. Forskningen bör ge biologer bättre förståelse för de mentala mekanismer som är involverade i insekternas navigationsförmåga. Det är en del av en mycket större insats inom ekologisk neurovetenskap, ett område för att utforska informationsbehandling under naturliga förhållanden. Bland annat vill man förstå hur denna navigationskompetens utvecklats. Då kanske man kan skapa flygande robotar med liknande kapacitet. Att ersätta dyra högupplösta kameror och minska strömförbrukningen utan att förlora information är avgörande för visuell navigering.



## Insekter använder också magnetisk kompass

**En stor internationell studie ledd av forskare från Lunds universitet i Sverige har för första gången bevisat att vissa nattliga migrerande insekter kan navigera med jordens magnetfält. Hittills var förmågan att styra flygning med hjälp av en inre magnetkompass endast varit känd hos nattliga flyttfåglar.**  
[Insects also migrate using the Earth's magnetic field](#) | [Faculty of Science](#)

Det är det första tillförlitliga beviset på att nattliga aktiva insekter kan använda jordens magnetfält för att styra på samma sätt som fåglar. Resultaten visar att insekterna använder både visuella landmärken i sin flygväg och jordens magnetfält, vilket gör deras navigering tillförlitligare.

Forskarna tror att malar i Nordeuropa kan använda jordens magnetfält på ett liknande sätt när de flyger över Alperna till Medelhavet.

Varje år migrerar bogongmalen från sydöstra Australiens slätter över tusen kilometer till alpina grottor i New South Wales och Victoria och sedan tillbaka. Den lilla bruna fjärilen är den enda kända insekten förutom den nordamerikanska monarkfjärilen att klara en så lång migration. Men i motsats till monarken, som flyger under dagen under en stigande sol, så flyger malen på natten. Längre har forskare undrat hur den klarar det.

Därför fångade forskarna bogongmalar under deras migration, band dem till en metallstav i mitten av en plasttrumma och registrerade i vilken riktning de flög som svar på en rörlig bild av ett berg och ett syntetiskt magnetfält av samma styrka som jordens. En svart triangel på vit bakgrund representerade ett bergstäckande landmärke vid horisonten som malarna kunde använda i navigeringen. Magnetiska spolar gjorde det samtidigt möjligt för forskarna att vända magnetfältet i vilken riktning som helst.

Man fann att de bevingade insekterna använder magnetiska fält som en kompass. Malarna flög mot "berget" men blev förvirrade efter några minuter om magnetfältet pekade i en annan riktning. Om magnetfältet och landmärkena blev i konflikt med varandra, förlorade malarna alltså sin känsla av riktning. De blev helt disorienterade, nästan som om landmärket försvunnit.

Man trodde studierna skulle visa att bogongmalar bara använder visuella signaler som stjärnor, månen och landmärken för att navigera. Men det var inte så. De uppfattade jordens magnetfält på exakt samma sätt som fåglar gör - och förmodligen av samma anledning.

Man tror nu att bogongmalen integrerar visuella signaler och magnetiska signaler och kontrollerar då och då för att se till att de stämmer överens. Det liknar hur en vandrare använder en kompass. Om malarna förlorar sitt ursprungliga landmärke, kan de kalibrera sin riktning med hjälp av jordens magnetfält och välja ett nytt visuellt landmärke att ta sig till.

Exakt hur djur känner av jordens magnetfält är ett mysterium, men det finns två teorier. Den första teorin är att det finns små kristaller av magnetit som är fysiskt kopplade till jonkanaler i en neuron, någonstans i nervsystemet. Om djuret vrider sig kommer det att skapas en skjuvkraft som bokstavligen gör att dessa jonkanaler öppnas eller stängs och skapar en elektrisk signal.

Den andra teorin innebär en speciell typ av proteinmolekyl som heter kryptokrom - och det är här saker börjar bli konstiga. De ljuskänsliga kryptokrommolekylerna kan användas som en magnetisk sensor, åtminstone hos vissa ryggradslösa djur. I blåaktigt ljus har dessa molekyler förmågan att ändra sitt kvantmekaniska spinttillstånd. Det är en kvantmekanisk effekt som kan generera tillräckligt med energi för att få en neuron att öppna och stänga jonkanaler



och skapa den elektriska signalen som används för att känna och uppfatta saker.

Fisk- och havssköldpaddor verkar använda magnetitpartikelmekanismen, medan fåglar är beroende av kryptokromer. Det är troligt att hos fåglar finns kryptokromerna i en viss typ av fotoreceptorer i ögat. Det kanske är så för insekter också. Det är emellertid oklart huruvida de nattliga malarna flyger i tillräckligt med ljus för att kryptokrommekanismen ska aktiveras. Här krävs mer forskning.

Förutom Lunds universitet deltog följande högskolor och organisationer i forskningsarbetet: Queens University i Kanada, University of Oldenburg i Tyskland, Duke University, USA, New South Wales National Parks and Wildlife Service och Australian Cotton Research Institute, båda i Australien.



***I den här anordningen band man fast malarna***

## Bin har fem ögon och kan räkna till noll

**Forskning om hur bin tänker kan bana väg för bättre drönare och robotar. För bin är intelligentare än man tror. De kan skilja på färger och de kan räkna till noll.**

**Nature: [Honeybees can count to zero](#)**

Bin kan vara nästa medel för leverans av vapen, rekognosering och övervakning. Forskare försöker bygga en "bee brain" för att fylla nya krav på militära drönare. Det viktiga är att dessa nya drönare inte är autonoma på det sätt som vi traditionellt tänker oss dvs följer förprogrammerade rutter och uppdrag som utförs eller avbryts på grundval av föreskrifter, som kodas av drönaroperatörerna. Nej, dessa drönare tänker faktiskt.

Forskarna fokuserar på hur bin tänker, ser och luktar. Med det kan man bygga ett robotbi som faktiskt beter sig som ett riktigt bi, snarare än att bara flyga på en förprogrammerad väg och utföra instruktioner. Fördelen med en sådan typ av autonom modell är tydlig när man har med komplexa uppgifter att göra.

Och bin är intelligentare än man kanske tror. De är med på en begränsad lista över djur, som förstår tanken på ingenting. Bin förstår begreppet noll, precis som delfiner och människor gör. Insekterna kan inte bara skilja att "ingenting" skiljer sig från "något", de kan också placera noll i den nedre delen av en positiv numerisk sekvens.

Tidigare forskning har visat att honungsbin (*Apis mellifera*) kan räkna upp till fyra objekt, men den nya studien är den första som tyder på att insekterna kan hantera abstrakta begrepp. För att undersöka om honungsbin kan förstå begreppet "inget", lockade forskare fria flygande bin till en skärm med vita kort, vart och ett visande två till fem mörka former. Vissa bin fick en droppe sött vatten när de flög till kortet som visade färre föremål, och andra fick belöning när de valde kortet som visar fler föremål.

Efter en träningsdag införde forskarna kort med ett eller inget objekt. Bin kunde konsekvent identifiera tomma kort som de med det lägsta antalet former. De blev ännu bättre på uppgiften när tomma kort presenterades



tillsammans med kort med fyra eller fem saker. De förstår att det finns något slags numeriskt avstånd. Det är ett mycket viktigt steg för att förstå noll.

Det är fortfarande oklart huruvida numerisk kompetens är medfödd hos bin eller om de lär sig det genom träning, men hur som helst, förmågan att förstå och tillämpa numeriska regler kan ge bina en fördel i det vilda, till exempel genom att tillåta dem att navigera eller känna igen olika blommors egenskaper.

Här är också färgsinnet viktigt. Att identifiera färg i komplexa utomhusmiljöer är extremt svårt eftersom ljusets färg förändras ständigt. Forskare, som studerade hur honungsbin löste detta problem upptäckte en helt ny mekanism för behandling av färginformation. För ett digitalt system som en kamera eller en robot ändras föremålens färg ofta. För närvarande hanteras detta problem genom att anta att världen är i genomsnitt grå. Det betyder att det är svårt att identifiera den sanna färgen på mogna frukter eller mineralrik sand, vilket till exempel begränsar drönarens möjligheter att urskilja färger utomhus.

Bin har tre extra ögon (ocelli) på toppen av huvudet som ser direkt upp på himlen och forskarna upptäckte att dessa ocelli innehåller två färgreceptorer som är perfekt inställda för att känna av färgen på omgivande ljus.

Bin har också två samverkande ögon, som direkt känner av blomfärger från miljön. Man tror att ocelliavkänningen av ljusets färg kan tillåta bihjärnan att ta hänsyn till den naturligt färgade belysningen, som annars skulle förvirra färguppfattning.

Men då måste informationen från ocelli integreras med de färger, som ses av de "vanliga" ögonen. För att testa om detta hände, kartlade man de neurala spåren från ocelli i bihjärnorna och visade att de faktiskt var kopplade till de färghanterande områdena i hjärnorna.

Denna upptäckt kan implementeras i bildsystem för att möjliggöra korrekt färgtolkning hos drönare för belysningar som är så olika som naturligt skogs-ljus, solljus eller skugga.

Resultaten visar hur modern, tvärvetenskaplig neurovetenskap kan peka på eleganta lösningar på klassiska problem.

## Fjärilar flyger effektivt på grund av flexibla vingar

Ny forskning visar att flexibla fjärilsvingar, som bildar en kupad form under hopslagningen, driver fjärilen framåt, medan nedslaget används för lyft. Flexibla vingar ökar dramatiskt den användbara kraften (+ 22%) och effektiviteten (+ 28%) jämfört med styva vingar. Resultaten kan ha betydelse för konstruktionen av flaxande drönare.

**Animal Flight Lab Lund:** [Butterflies propulsive clap mechanism](#)

Fjärilar ser inte ut som andra flygande djur med sina ovanligt korta, breda och stora vingar i förhållande till sin kroppsstorlek. Den fladdrande flykten hos fjärilar över en solig äng skapar fascination, men samtidigt är fjärilsflygningen något av ett mysterium.

Förutom deras karakteristiska fladdriga flykt gör flytande arter av fjärilar mycket långa och ihållande flygningar. Starten hos fjärilar är också vanligtvis mycket snabb som ett svar på potentiella rovdjurshot. De snabba starterna kräver hög kraftproduktion och kontroll.

Fjärilarnas fladdrande flykt har hittills varit något av ett mysterium för forskare, men nu har forskare vid Lunds universitet studerat fjärilarnas aerodynamik i en vind-tunnel. Resultaten antyder att fjärilar använder en mycket effektiv klapptechnik, vilket hjälper dem att snabbt ta fart när de flyr från rovdjur.

Fjärilar har en unik vingform i naturen. De intar en extrem plats bland flygande djur med ovanligt stora vingar i förhållande till sin kroppsstorlek (mycket låg vingbelastning) och mycket korta och breda vingar. Man har haft en relativt dålig förståelse för den mekaniska grunden för varför fjärilar har utvecklat den extrema relativa vingstorleken och formen de har. Fjärilarnas stora vingar med låg vingbelastning möjliggör långsam flygning, men vingar med så lågt sidförhållande har låg effektivitet vid lyft och relativt högt vingmotstånd, vilket resulterar i aerodynamiskt ineffektiv flygning. Studien förklarar emellertid fördelarna med både vingformen och flexibiliteten hos fjärilarnas vingar.

Lundaforskarna studerade vingslag hos fritt flygande fjärilar under start i en vindtunnel. Under det uppåtgående slaget skapar vingarna en luftfylld ficka mellan sig. När vingarna sedan slås ihop tvingas luften ut, vilket resulterar i en bakåtstråle som driver fjärilarna framåt. Det nedåtgående vingslaget har en annan funktion. Det ger lyft och ser till att fjärilarna stannar i luften och inte faller till marken.

Vingarnas hopslagning beskrevs av forskare för nästan femtio år sedan, men det är först i denna studie som teorin har testats på riktiga fjärilar i fri flygning. Tidigare studier har föreslagit att fjärilar använder flera instabila aerodynamiska mekanismer för att öka kraftproduktionen med uppströms vingslag som en framträdande funktion. Hittills har den vanliga uppfattningen varit att fjärilsvingar är aerodynamiskt ineffektiva, men forskarna visar att motsatsen faktiskt är fallet.

Resultaten indikerade en viktig roll för vingflexibiliteten. Under vingslaget var fjärilarnas vingar inte bara två plana ytor som smälldes ihop. När de två vingarna möttes, hade de en omvänd krökning troligtvis på grund av deras flexibilitet. Detta resulterade i en "kupad" hopslagning, där vingarnas framkant möttes före de centrala delarna, medan de bakre vingkanterna hölls nära varandra vid kroppen. Denna märkliga form hos vingarna under uppslaget har tidigare noterats för fjärilar, men funktionen hos



den har inte undersökts vidare. Kupade flexibla vingar, som i huvudsak bildar en luftficka i de sena stadierna av hopslagningen, resulterar emellertid i en större impuls eftersom vingarna kommer att påverka en större luftvolym vid det sista kritiska skedet av hopslagningen. Dessutom är de böjda och flexibla fjärilsvingarna effektivare än stela vingar eftersom de kupade vingarna behåller luftvolymen bättre när vingkanterna bildar en mer sluten struktur. Den kupade formen kan också minska skadligt "luftläckage" mellan vingarnas främre kanter, vilket annars skulle resultera i en reaktionskraft i en oönskad riktning (t.ex. nedåt eller bakåt).

Resultaten tyder på att fjärilar har utvecklat ett mycket effektivt vingslag, vilket ger en mekanistisk hypotes för deras unika vingmorfologi. Att vingarna är kupade när fjärilarna slår ihop dem gör sammantaget att vingslagen blir mycket effektivare. Det är en elegant mekanism som är mycket mer avancerad än man trodde.

Formen och flexibiliteten hos fjärilsvingar kan inspirera till förbättrad prestanda och flygteknik hos små drönare. Förutom att studera fjärilarna i en vindtunnel konstruerade forskarna mekaniska vingar som efterliknade verkliga. Formen och flexibiliteten hos de mekaniska vingarna när de var kupade och vikta bekräftade effektiviteten. Mätningarna visade att kraften, som skapas av de flexibla vingarna, är 22 procent högre och effektiviteten 28 procent bättre jämfört med om vingarna hade varit styva.

Resultaten har betydelse för konstruktion av konstgjorda framdrivningssystem, som används av obemannade luftfarkoster eller undervattensdrönare. Vissa sådana använder redan framdrivningssystem baserade på en vingslagsrörelse. Även om flexibla vingar tidigare har föreslagits för att generera potentiella fördelar visar resultaten här att en noggrann avstämning av design- och materialegenskaper hos vingar och fenor hos flaxande drönare för att uppnå en kupad form, kan dramatiskt förbättra effektiviteten och därmed flygningens eller simningens varaktighet och räckvidd.

## Fåglar-trots allt bäst

Flygödlorna verkar ha varit var de första ryggradsdjuret som hade förmåga till svävande glidning och aktiv flykt. De anses generellt ha varit skickliga flygare. De hade stora vingar som bildades av skinn som sträckte sig från överkroppen och ut till ett förlängt fjärde finger. Det har funnits hundratals olika arter som varit kapabla att flaxa och många har även haft förmågan till svävande glidflykt. Flygödlor utgör de största kända flygande djuren och en av de största, Quetzalcoatlus, uppskattas ha haft ett vingspann på över tio meter.

Vissa var befjädrade men definieras inte som fåglar trots att de är nära besläktade. Vissa arter har i fossil form återfunnits med fjädrar på alla fyra benen vilket gav dem fyra "vingar" som man tror användes för glidflykt eller aktiv flykt.

Även om släktskapet kanske är ifrågasatt så får man nog betrakta fåglarna som flygödlornas arvtagar. Merparten av världens alla fåglar kan flyga och fåglarnas flygförmåga är bland alla flygande djur den som studerats mest.

Fåglar kan utnyttja termik,

varma luftpelare som stiger i atmosfären, för att öka sin glidprestanda. Utmaningen är att hitta termiken i tid och stanna i dem tillräckligt länge för att maximera flygprestanda. Även om fågelfjädrar inte har någon inneboende sensorisk förmåga så har de möjlighet att känna av luftflödet över vingen genom de olika receptorerna runt fjädrarnas folliklar. Det är möjligt att svävande fåglar som är beroende av utnyttjandet av den atmosfäriska energin kan upptäcka lokala uppdrag längs hela ytan av sina vingar från förändringar i fördelningen av trycket.

Fåglarnas flyghastighet är mer komplex än vad forskningen tidigare lyckats visa. I en ny studie från Lunds universitet i Sverige har forskare funnit att fåglar använder flera - var och en enkla men ändå effektiva - metoder för att styra sin hastighet i luften och kompensera för medvind, motvind och sidvind.

Flyttfåglar använder ofta varm, stigande luft vid flygning över långa avstånd. Forskare har för första gången bevisat att fåglar kan sova medan de flyger. Fregattfåglar verkar flyga i sömnen utan problem. Förmågan är sannolikt en nödvändig anpassning för fåglar som flyger långa

sträckor. Det märkliga är att de klarar sig på mindre än en timmes sömn per dygn.

Fåglar flyger ofta i svärm, ibland i jättestora flockar. Men varför de bildar sådana svärmar och hur bär de sig åt för att navigera i dem har man inte lyckats fastställa.

Forskare tror emellertid att fåglar kan använda kvantmekanik för att navigera, även i mörker och dimma. Vid Lunds Universitet har gjorts en viktig upptäckt om den inre magnetiska kompassen hos fåglar. Man har identifierat ett protein utan vilket fåglarna förmodligen inte skulle kunna orientera sig med hjälp av jordens magnetfält.

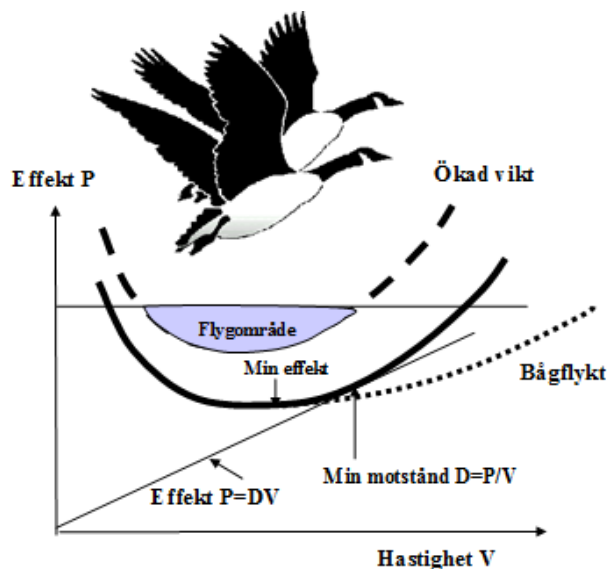
Pilgrimsfalkar är kända för sin jakt och flygning, men deras metoder har varit ett mysterium. En ny studie visar emellertid att deras strategi liknar den hos missiler och bobsleighåkare.



## Varför är fåglar så små?

Och varför kan inte vi flyga när de kan?

Bevingat Nr4/2005 Ulf Olsson



År 1792 utbröt det dittills största kriget i Europa mellan det revolutionära Frankrike och de gamla kungadömena.

Samma år blev George Cayley vid nitton års ålder den sjätte baronen av Brompton Hall, som han övertog efter sin far.

Vid sidan om sina jordnära sysslor var George Cayley emellertid också intresserad av flygning och 1799 gjorde han en mycket intressant upptäckt.

I många hundra år hade man försökt bygga flaxande maskiner för att kunna flyga som fåglar men alla sådana försök hade skändligen misslyckats. När Cayley nu studerade fågelvingar, såg han att de var välvda och han insåg att en sådan vinge om den fördes genom luften skulle tvinga luften att strömma nedåt bakom vingen. Den nedåtgående luftströmmen skulle ge lyftkraft bara genom att vingen rörde sig framåt. Man skulle alltså kunna flyga med fasta vingar och flaxande maskiner var bortkastad möda. Cayley ristade in sin ide om en flygmaskin med fasta vingar på en liten silverbricka, som numera finns på Science Museum i London. Han hade därmed gjort en av de viktigaste uppfinningarna i historien.

George Cayleys upptäckt av fågelvingens utformning gjorde det möjligt att separera lyftkraft och framdrivning. Det ledde över Lilienthal till den första kontrollerade flygningen tyngre än luften av bröderna Wright hundra år senare. Men hur kom det sig då att fåglarna utvecklade sin välvda vinge?

Bland de nästan 10000 kända arterna finns det många fler små fåglar än stora och den maximala storleken tycks ligga något över tio kilo. En speciellt kraftfull fågel är den sibiriska kungsörnen Berkut. Den används för jakt på vargar, rådjur och andra större djur. Ansträngningarna att avla fram större Berkutörnar har varit intensiva sedan Djingis

Khans tid men man har ändå inte lyckats komma mycket över 10 kilo. Det finns tydligen här en gräns som naturen inte överskrider. Men vad är det som begränsar storleken på flygande varelser?

En flygande fågel måste lägga ner arbete dels för att övervinna luftmotståndet, dels för att vinkla luften snett neråt för lyftkraft och framdrivning. Flyger man fort kommer luftmotståndet att öka. Flyger man långsamt måste man som insekterna blåsa mycket luft neråt med vingarna. Det är också jobbigt. Vi får en U-formad kurva, som kallas flygeffektkurvan, se figuren ovan. Man ser nu att det är mycket arbetsamt att flyga såväl vid låga som vid höga hastigheter men också att det finns en hastighet som kräver minst arbete. Det här är fåglarnas stora "upptäckt". Genom att anpassa sin hastighet kan de utnyttja kraften i den mötande luften och flyga med betydligt mindre arbete än insekterna, som håller till på den undre delen av flygeffektkurvan.

Om en flyttfågel vill flyga så långt som möjligt utan att "tanka" så bör den minimera energiförbrukningen per tillryggalagd sträcka dvs  $P_t/V_t = P/V = D$ , det totala motståndet. Hastigheten för minsta motstånd får vi genom att dra tangenten från origo till flygeffektkurvan. Flyttfåglar slöflyger inte utan flyger lite fortare för att behöva äta mindre!

Både den högsta och den lägsta flyghastigheten begränsas av hur hög muskeffekt fågeln kan åstadkomma. Om fågelns arbetsförmåga svarar mot den horisontella linjen i diagrammet så kan den bara röra sig i det markerade området. När storleken ökar så höjs hela effektkurvan uppåt så att muskeffekten till slut inte räcker ens för flygning med minimal effekt. Därför är fåglar så små.



**Pteranodon är den hittills största flygande varelsen.  
Den vägde 20 kg och hade 4 m<sup>2</sup> vingarea.**

Effektbehovet ökar dessutom snabbt om fågeln skall bära en tyngd. En rovfågel som bär sitt byte måste utveckla en betydligt högre muskeffekt än normalt. Hela effektkurvan förskjuts uppåt och flygområdet krymper tills den tvingas flyga på den hastighet, som ger minimal effekt. Små fåglar kan däremot röra sig i ett större hastighetsområde än stora. Speciellt har de lättare för att flyga med låga hastigheter, att rytla.

Nu kan fåglar vidga sitt flygområde till högre hastigheter genom att övergå till ett annat flygsätt, så kallad bågflykt. Alla har nog lagt märke till att många fåglar inte flaxar kontinuerligt utan först glider snett nedåt genom luften med hopfällda vingar för att sedan höja sig genom en serie vingslag.

Den optimala effekten för bågflykt visar sig tangeras flygeffektkurvan i mineffektpunkten. För högre hastigheter kommer effektbehovet i bågflykt att vara lägre än för kontinuerlig flygning. En fågel med en given prestationsförmåga kan därför öka sin hastighet genom att övergå till sådan flykt. Vinsten med bågflykt är större för mindre fåglar än för stora eftersom flygeffektkurvan är lägre. Observera att kurvan för bågflykt bara existerar för högre hastigheter än den som ger minimal effekt. Det är alltså ingen metod som kan användas för att flyga långsamt.

Vi kan nu förstå vad det är som begränsar fåglarnas storlek. Blir vikten tillräckligt stor så försvinner flygområdet helt och fågeln måste övergå till ett jordbundet liv. För att orka flyga måste en stor fågel skaffa sig en form så att effektbehovet minskar. Det innebär liten våt area och samtidigt stor spännvidd. Helst ska fågel inte ha någon kropp alls utan bara vingar.

Men de långa vingarna ställer till problem. Om vi ökar avståndet mellan händerna blir det allt svårare att göra armhävningar. Men det är just vad fåglarna måste klara av. Här kommer vi tillbaka till Cayley's upptäckt. Stora fåglar har utvecklat vingar, som kan ge lyftkraft utan flax genom själva den framtågande rörelsen. Vingprofilens välvda form vinklar luften nedåt bakom vingen och ger lyftkraft till synes utan ansträngning.

Flygning kräver ändå hög effekt och låg vikt. Ett bra mått på prestationsförmåga är effekten per kilo kroppsvikt. Bröderna Orville och Wilbur Wrights bedrift var att de var först med att bygga en maskin, som kunde utveckla lika mycket kraft som en fågel. Deras flygplan hade en effekt av cirka 25 W/kg, vilket ungefär motsvarar vad en mås utvecklar. Jämför det med människans cirka 3 W/kg! Flygtekniken har sedan dess utvecklats ofantligt. Gripen har en effekt per kilo som är hundra gånger så stor som bröderna Wrights första flygplan och Ariane-raketen är tusen gånger så kraftfull. Flygmaskinerna är de kraftfullaste maskiner människan skapat liksom fåglar och insekter är de kraftfullaste av alla levande varelser.

I ren råstyrka har vi alltså överträffat naturen men vi ligger fortfarande långt efter när det gäller styrning och kontroll av flygningen. Kanske kommer framtidens flygplan att utvecklas mot något som liknar en levande varelse med en kraftfull datorhjärna som via ett fiberoptiskt nervsystem styr en kropp av flexibla material. Fortfarande gäller emellertid Lilienthals ord att fåglarna gör narr av oss som flygare.

## Om fåglars glidtal

Av Lars Helmersson

På Flygtekniska Föreningens hemsida:

<http://ftfsweden.se>

finns en sammanställning av artiklar i Bevingat 2013-2018 "Flygteknik i naturen".

Jag har en kommentar till kapitlet:

"Glidflygande ormar och andra djur".

På sid 41 står: "Ett högt glidtal  $L/D$  ger bättre bränsleekonomi. Ett modernt segelflygplan närmar sig 60 men normalt har ett trafikflygplan under 20. Albatrossen ligger på 40 och en seglande gam på 25."

Max  $L/D$  25 för en gam är starkt överskattat (för att inte tala om  $L/D$  40 för albatross) och kommer troligen från en tidig och mycket spridd mätning publicerad i Performance Measurements of a Soaring Bird. – A. Raspet, Aeronautical Engineering Review Vol.9, No.12, page14, 1950 en mätning som man inte längre tror så mycket på.

Under de senaste 50 åren har jag gjort ganska omfattande litteraturstudier i ämnet och de mest välbelagda uppmätta bästa glidtal hos fåglar i glidflykt har jag sammanfattat i nedanstående tabell. Prestanda avser värden från de anpassade kurvorna, inte från de individuella mätpunkterna, och kan därför skilja något från vad som anges i referenserna.

$b$  och  $S$  avser maximala spännvidden resp. maximala genomgående vingytan [normal definition],  $\Lambda$  vingens sidoförhållande,  $m$  fågelns massa,  $w$  sjunkhastigheten och  $V$  hastigheten.



Fågel	$b$	$S$	$\Lambda$	$m$	$m/S$	Min $w$	vid $V$	Max $L/D$	vid $V$	Mätmetod
	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[-]	[kg]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[m/s]	[m/s]	[-]	[m/s]	
Laggar Falcon	1.01	.132	7.73	.57	4.32	.96	8.6	10.0	10.6	Friflygande i vindtunnel
Black Vulture	1.37 <sup>1</sup>	.336	5.59	1.79	5.33	1.08	11.1	11.3	13.4	"
Harris' Hawk	1.018 <sup>2</sup>	.191	5.43	.702	3.68	.85	8.8	11.6	11.0	"
Kaja	.595	.0593	5.97	.1844	3.11	.62	7.4	12.6	8.3	"
Tornseglare	.392	.0157	9.8	.042	2.68	.69	8.1	12.6	9.4	"
Tornseglare	.365	.0133	10.0	.043	3.23	.62	7.3	12.3	7.9	Vinge+kropp i vindtunnel
Stormfågel	1.12	.121	10.3	.726	6.00	1.14	9.0	8.5	10.3	Markobservation
Vit Stork	2.02	.57	7.21	3.53	6.19	.60	8.5	15	11	"
White-Backed Vulture	2.18	.690	6.90	5.38	7.80	-	-	15.3	13.0	Jämförelseflygning

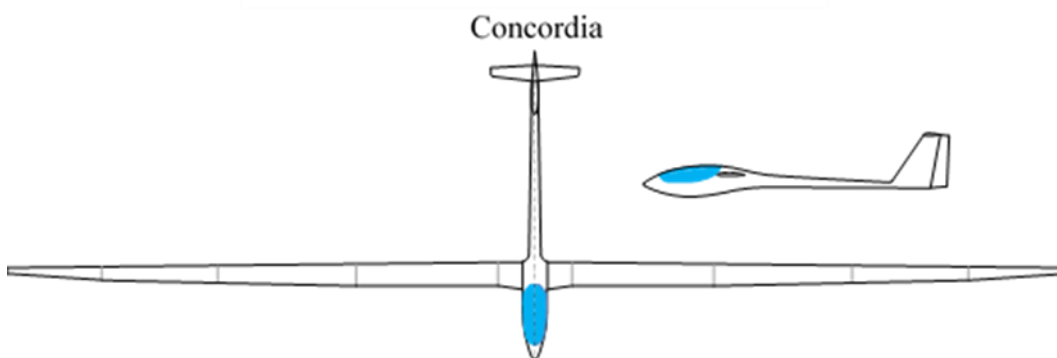
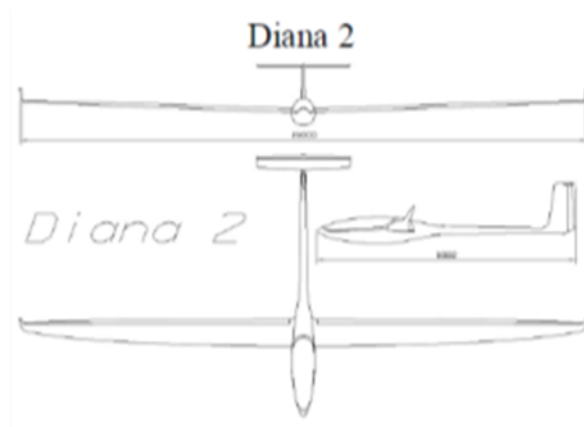
<sup>1</sup> Vingarna möjligen inte är helt utbredda p.g.a. närheten till vindtunnelns väggar.

Under mina 2 000 h segelflygning har jag också haft en del kontakter med segelflygande fåglar (framförallt ormråk, fiskgjuse och gåsgam) som styrker ovanstående max  $L/D$ . Någon tillförlitlig mätning av max  $L/D$  för en albatross har jag inte hittat, men tillförlitliga beräkningsmässiga uppskattningar brukar ligga på 23 (jag bedömer toleransen till  $\pm 2$ ).

För segelflygplan gjorde jag nyligen, efter en förfrågan, nedanstående sammanställning. De två övre segelflygplanen i tabellen är de med högst glidtal i öppna klassen och de två nedre de bästa i "15m -klassen" (klass med spännviddsbegränsningen 15 m)



Segelflygplan	$b$ [m]	$S$ [m <sup>2</sup> ]	$\Lambda$ [-]	Max $L/D$	Källa Max $L/D$
<b>Concordia</b>	28	13.7	57.2	75	Tillverkare/konstruktör
<b>eta</b>	30.84	18.53	51.33	70	Uppmätt, DLR Idaflieg
<b>Diana 2</b>	14.942	8.657	25.79	50	Tillverkare
<b>ASW-27</b>	15	9	25	48	Uppmätt, DLR Idaflieg





## Vad är glidtal eller L/D?

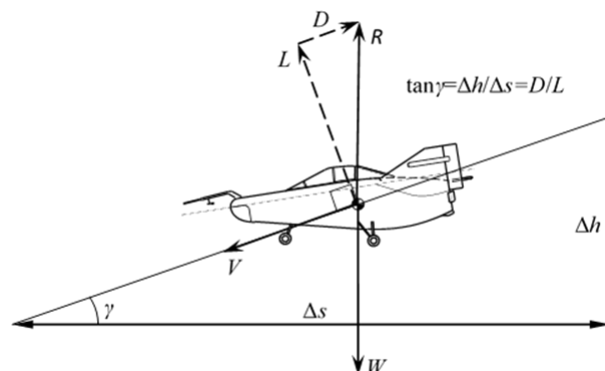
På svenska menar (eller menade man) med glidtal förhållandet mellan höjdförlust och horisontell förflyttning för ett flygplan vid glidflykt,  $\Delta h/\Delta s$ , vilket också är förhållandet mellan motstånd och lyftkraft  $D/L$ , se nedanstående figur.

På engelska talar man istället om inversen  $L/D$ , som ofta också kallas glidtal på svenska.

Vid planflykt med konstant fart är  $L=W$  och den erforderliga dragkraften, som bestämmer bränsleförbrukningen, är  $W/(L/D)$ .

Max  $L/D$  ger för propellerflygplan max flygsträcka och för jetflygplan max flygtid.

(Uppdelningen mellan jetflygplan och propellerflygplan är nödvändig eftersom motorns dragkraft  $T$  kan betraktas som konstant för jetflygplan och motorns effekt  $P$  som konstant för propellerflygplan (kolvmotor eller turboprop). Effekten  $P=T \cdot V$  ökar därför linjärt med hastigheten för ett jetflygplan medan dragkraften för ett propellerflygplan minskar med hastigheten. Turbofläktmotorer, som dominerar bland dagens trafikflygplan, ligger ungefär mitt emellan idealiserad propeller- och jetdrift.)



### Exempel på maximala glidtal

#### Flygplan eller fågel

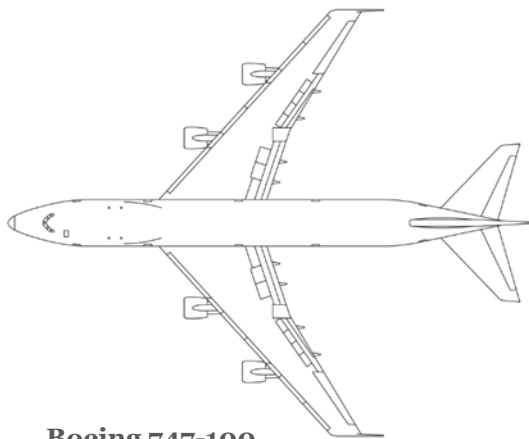
	Max L/D	
	Marschflygning	Glidflykt
Boeing 747	18	
Lockheed U-2	25.6 <sup>3</sup>	23 <sup>4</sup>
F4 Phantom	10	
Cessna 172		9
M2-F1 (figurens "Lifting Body")		2.8
Diana 2 (segelflygplan 15 m spännvidd)		50
Concordia (segelflygplan 28 m spännvidd)		75
Tornseglare		12.6
Vandringsalbatross		≈23
Svartgam		11.3

<sup>3</sup> "U2 Developments" – Central Intelligence Agency Posted Jun 04, 2013

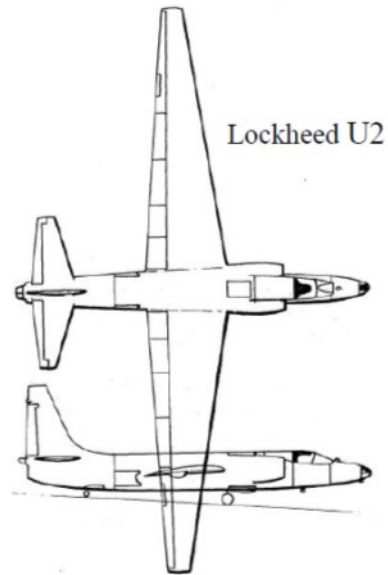
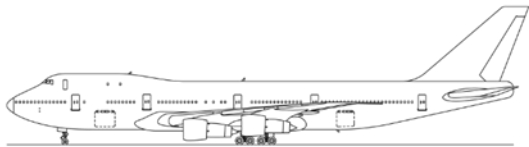
<sup>4</sup> "U2 Utility Flight Handbook" Department of Defence, 1959

Vid glidflykt med avstängd motor ökar motståndet, vilket sänker  $L/D$ , särskilt för stridsflygplan (t.ex. F4 Phantom) där max  $L/D$  i stort sett halveras.

## Flygplanen och fåglarna i tabellen



**Boeing 747-100**

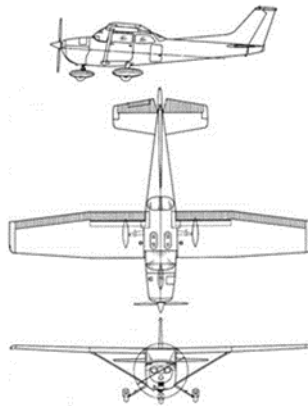


**Lockheed U2**

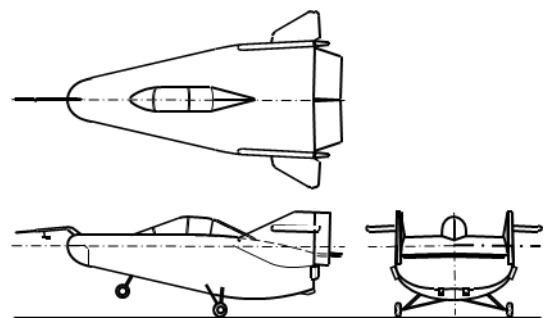
**F4 Phantom**



**Cessna 172**



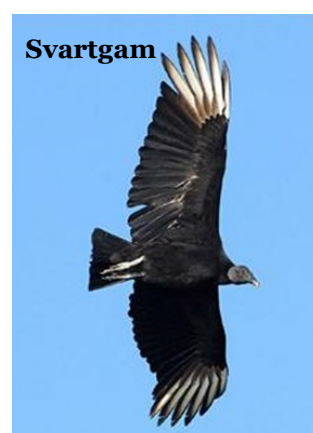
**M2-F1**



**Tornseglare**



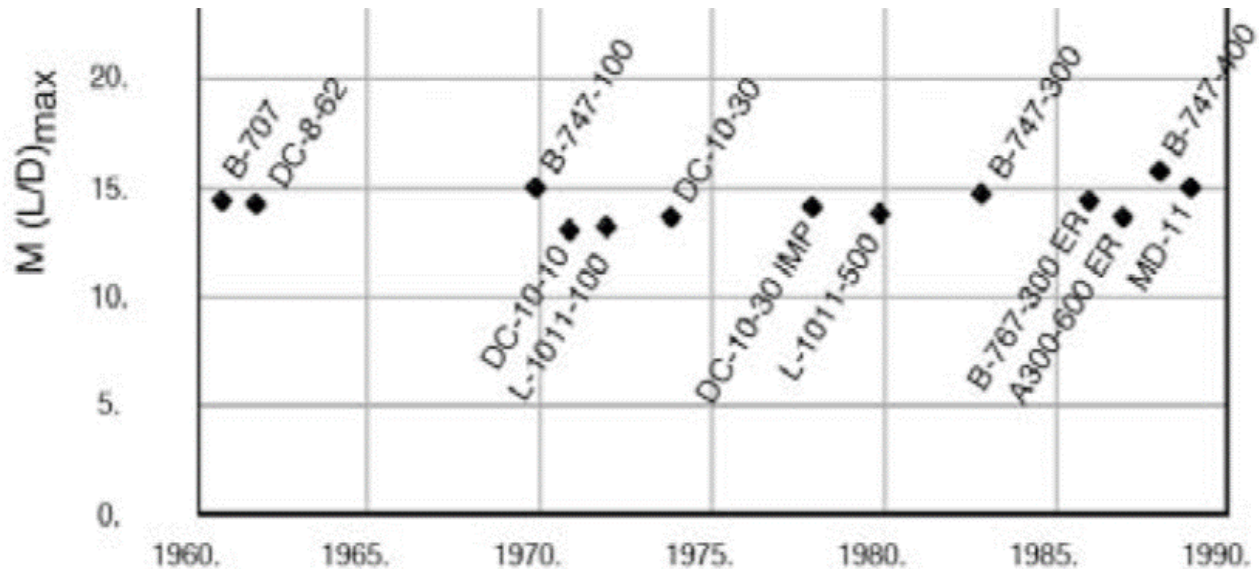
**Vandringsalbatross**



**Svartgam**

Stora fåglar har bara egen energi för korta flygningar och tar energi från atmosfären. Obs. skillnaden i vingplanform mellan stora segelflygande sjö- och landfåglar.

## Långdistans passagerarflygplan. Max $M \times L/D$ mot år då flygplanet tagits i tjänst (AIAA 20040001)



Som synes har passagerarflygplan, i motsats till segelflygplan, nästan inte förbättrats alls aerodynamiskt de senaste 50 åren (motorerna har däremot blivit effektivare). En del förklarar detta med att man redan på 1950-talet visste hur ett effektivt flygplan skulle utformas, medan andra menar att användandet av ny teknologi förhindras av dess stora kostnader och risker.

En liknande observation kan göras beträffande propellrar. Vindtunnelprov på en replik av propellern på Wrights första flygplan visade att verkningsgraden vid tillståndet under första flygningen var 75% och dess maximala verkningsgrad 82%. Idag, med all samlad kunskap, datorer, CFD och moderna vindtunnlar kan man alltså bara konstruera en 5% effektivare propeller än vad två cykelreparatörer med "folkskola" kunde 1903.

Prestandamätningar på segelflygplan görs vanligen antingen genom att man mäter höjdförlusten under några minuters flygning med olika konstanta farter i lugn luft, eller genom

jämförelseflygningar där man på motsvarande sätt mäter höjdskillnaden mot ett med den ovan beskrivna metoden noggrant uppmätt flygplan.

Problemet är att luften aldrig är helt lugn. Mätningarna brukar utföras strax efter soluppgången i stabila väderlägen, men även då har luften ofta någon vertikal rörelse.

I ett stabilt högtryck har luften en svag nedåtgående rörelse av storleksordningen 1 cm/s (subsidence). Det är därför svårt att noggrant mäta höga  $L/D$ . Representativa värden som  $(L/D)_{max}=60$  vid 30 m/s (108 km/h) motsvarar en sjunkhastighet på 0.50 m/s varvid 1 cm/s vertikal luftförflyttning påverkar glidtalet med en enhet. Relativmätningar ger troligen en noggrannhet på  $\pm 1$  i max  $L/D$ , medan osäkerheten i absolutvärdena p.g.a. rörelser i luftmassan, snarare ligger på  $\pm 2$ , även vid omfattande mätningar så ett uppmätt  $(L/D)_{max}=70$  kan alltså lika gärna vara några enheter lägre eller högre.

## Möten med fåglar

I sammanhanget kanske det kan vara intressant att berätta om några möten med fåglar under mina segelflygningar. Texterna har tidigare publicerats i tidningen Segelflygsport.



### Ormvråk (Linköping)

Stiget under molnet norr om bana 08 på Malmen där jag kurvade tillsammans med en ormvråk, höll på att ta slut och det var dags att söka ett nytt. Molnbasen var låg ( $\approx 900\text{m}$ ) så molnen låg tätt. Jag hade redan valt ut ett av molnen österut om mig och skulle bara fortsätta svängen tills jag hade kurs mot det när jag såg vråken lämna på nordlig kurs. Min blick följde honom mot molnet han var på väg mot. Så han väljer det molnet. Skulle det vara bättre? Nej, jag höll fast vid mitt val.

När jag nådde mitt moln och svängde in i stiget tittade jag bakåt över vänster axel och såg vråken svänga in under sitt moln. Nu får vi se vem som valt rätt tänkte jag. När jag fullbordat mitt första varv och åter fick vråken i mitt synfält kunde jag belåtet konstatera att han sjunkit relativt horisonten. Jag steg bättre. Då såg jag vråken lämna sitt moln och med vingspetsarna tillbakadragna i högfartsläge komma över till mig.

Vråken och jag hade uppenbarligen observerat varandra på exakt samma sätt och jag har sällan känt en större samhörighet med naturen.

Efter detta har jag gjort reflektionen att när jag upptäcker en vråk i samma blåsa är det nog ingen slump. Eftersom ett segelflygplan har 100 gånger större yta än en vråk och deras syn är överlägsen vår kan de knappast undgå att lägga märke till ett segelflygplan som markerar stig inom det område som intresserar dem.

Man kan fundera över hur de upplever ett segelflygplan, som en fågel eller som något med en människa i, men eftersom de inte tänker, med den resonande inre dialog som vi kallar tänka, utan agerar direkt på intryck och känslor är frågan irrelevant. Så länge de märker att man inte bryr sig om dem är de obekymrade av segelflygplanets närvaro, till den grad att jag en gång vara nära att kollidera med en ormvråk trots att vi båda var medvetna om varandra (vråken halvrollade och drog under min högerving). Märker de att man följer dem blir de däremot rädda och dyker. Det är inte orimligt att lokala vråkar runt flygfält med segelflygverksamhet känner igen de olika segelflygplanen och betar sig olika gentemot dem.



### Fiskgjuse (Linköping)

Jag såg den kurva under ett moln väster om mig, bortåt Vikingstad. Den liknade en stor trut och jag tänkte fiskgjuse, utan att vara helt säker. Lite senare delade vi samma blåsa och visst var det en fiskgjuse. När vi nått molnbasen lämnade han på nordlig kurs. Jag ville följa honom och fullbordade mitt varv, men med min högre fart gled jag förbi och fick honom snett bakom mig till vänster. Genom att ta landningsklaff och dra ner farten till stallgränsen kunde jag låta honom komma ikapp, och när han långsamt glidit upp på min vänstra sida lät jag farten öka till hans. Hastighetsmätaren visade 70 km/h och han låg lugnt bara någon meter utanför min vingspets på exakt samma höjd, säkert medveten om uppsvepningen där. Jag har ett fotografiskt minne av hans vingens multipla V-form sedd från vingspetsen (måsvinge med uppvinklade handpennor).

Under kanske 5-10 sekunder utgjorde jag hans udda sällskap, medan han långsamt sjönk tills han försvann under min vingspets. Jag gjorde ett högervarv för att försöka ansluta till honom igen, men han var borta.

Det var vår och jag tror att han sträckte. Jag har kurvat tillsammans med fiskgjusar i närheten av Hjälmaran, men aldrig förr i området kring Malmen där detta hände.

Det är enda gången som jag flugit tillsammans med fågel som glidit så fort att jag kunnat följa den. Vrårkar och tranor håller en fart mellan blåsorna som är lägre än stallfarten för dagens segelflygplan.

## Svalornas aerodynamik



Ett flygplan kanske blir mer lik en svala än någon annan fågel som studerats hittills. De styva vingarna gör den grundläggande konstruktionen enklare samtidigt som amplituden på variationen av de aerodynamiska krafterna gör det enklare att erhålla en stabil flykt. Svalorna manövrerar lätt i luften och de kan också glidflyga lång sträcker.

En tornseglare som den på bilden här intill tillbringar nästan hela livet flygande, dag och natt och landar bara tillfälligt. Denna extrema livsstil är naturligtvis kopplad till en specialiserad kropp och vinge. Svalan har en strömlinjeformad kropp och långa, smala bakåtsvepta vingar. Vingarna har en mycket kort armsektion och en mycket lång hand jämfört med de flesta andra fåglar. Studier i vindtunneln i Lund visar också att svalorna lämnar andra virvlar än andra fåglar. De har mer eller mindre konstant avlämning av virvlar i vaken genom hela vinglaget, både upp- och nedslag, vilket visar att ändringarna i krafterna är små.

Svalor kan ses glidflyga längre sträckor. Vindtunneln kan lutas vilket gör det möjligt att ha fåglar glidande under längre tidsperspektiv. För seglare uppmättes ett maximalt förhållande mellan lyftkraft och motstånd  $L/D=12.5$  vid  $9.5 \text{ m/s}$  [1]. Detta är bland det högsta som uppmätts för fåglar. Som jämförelse så har ett modernt trafikflygplan  $L/D=18$ . Svalornas maximala hastighet ligger mycket högre eller vid omkring  $30 \text{ m/s}$ .

Under flaxande flygning är den effektiva  $L/D$  nästan hälften så stor. En linjär relation mellan vingspann och hastighet observerades, vilket var motsatt vad man sett för andra fåglar. Man hade väntat sig att fågeln skulle minimera luftmotståndet med ett kortare vingspann då lyftkraften ändå kan bibehållas när hastigheten ökar.

### Svalan har virvlar även från vingroten

Utom de virvlar som beskrivs ovan har svalan virvlar från vingroten som kommer från området där vingen är fäst vid kroppen [3]. Man antar att detta beror på att kroppen genererar mindre lyftkraft än vingarna. Cirkulationen i rotvirvlarna är lägre än i toppvirvlarna så det måste finnas en viss cirkulation också över kropp/stjärt så virvlarna över vingarna är inte helt isolerade. Detta liknar systemet hos fladdermöss och i viss utsträckning hos insekter som humlor.

Orsaken till rotvirvlarna är inte helt klarlagd. Eftersom kroppen alltid kommer att generera mindre lyft helt enkelt på grund av sina aerodynamiska egenskaper kommer det att vara en tryckskillnad från vinge till kropp. Denna skillnad borde ge upphov till störningar i vaken i form av

rotvirvlar. Ändå finns det insekter som lyckats undvika rotvirvlar som t ex trollsländor. En alternativ förklaring är att när vingen flaxar så bildas en hastighetsskillnad längs vingen som kan resultera i en minskning av cirkulationen från vingtoppen till basen. Denna skillnad kan leda till avlösning av virvelstråk som rullas upp i form av rotvirvlar.

Det är hur som helst inte klart om rotvirvlarna är en fördel eller en nackdel. Två separata topp- och rotvirvlar är mindre effektivt än om de båda vingarna tillsammans med kroppen fungerade som en enda vinge och bara hade toppvirvlar. Å andra sidan kan separata vakar kanske ge större flexibilitet då vingarna opererar oberoende av varandra.

### Svalor tar det lugnare än man tror

**Svalor är exceptionella i sin anpassning till luftlivet. Åtande, sovande och alla andra dagliga aktiviteter utförs i luften dag efter dag, vecka efter vecka. Men faktum är att de tar det lugnare än det ser ut enligt *Journal of Experimental Biology*. [Artikel](#)**

Svalors grundläggande flygförmåga har studerats i många vindtunnelexperiment, men fåglar i vindtunnel delar aldrig plats med andra eller kämpar mot oväntade vindar. För att studera fåglar i frihet monterade forskarna ett par vinklade speglar på båda sidor om en kamera, med en tredje spegel framför linsen för att samla reflektionerna från de breda speglarna. De kunde sedan filma och rekonstruera individuella snabba rörelser i 3D. De mätte olika detaljer, allt från positionen av svängarna till den tid som spenderades, och beräknade sedan varje fågels momentana hastighet, den g- kraft som de tog i svängarna och mängden energi som krävdes för varje manöver.

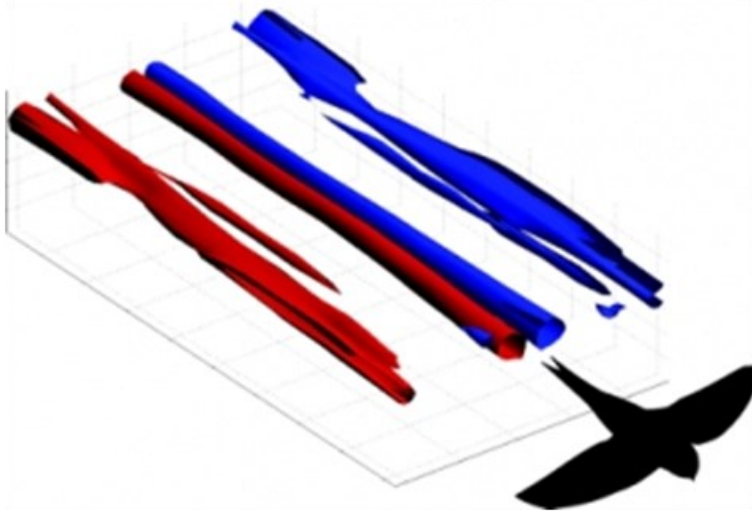
Imponerande nog använde svalorna det mesta av sin tid till att glida omkring (71%), trots att de svängde och virvlade runt när de snappade insekter. När man analyserade fåg-



larnas acceleration i svängarna fann man att manövrerna i regel var relativt lugna med bara  $1.4 \text{ g}$  jämfört med de höga accelerationer upp till  $8 \text{ g}$ , som svalor kan utföra. Förmodligen behövde de inte stressa eftersom de insekter som svalorna äter rör sig relativt långsamt i luften.



## Virvlar från stjärt och vingtoppar



### Virvlar från stjärten

Vid glidflykt är virvlar från stjärten framträdande. De är nästan lika starka som toppvirvlarna. Trots detta så är deras bidrag till lyftkraften liten på grund av den låga bredden på stjärten jämfört med vingbredden framförallt vid höga hastigheter. Toppvirvlarna är lika vid alla hastigheter men stjärtvirvlarna är närmare varandra vid höga hastigheter då stjärten är mindre utspärrad.

Virvlar från vingtoppar och stjärt på en glidflygande tornseglare [1]. Toppvirvlarna uppstår genom att luften glider utåt längs vingen och runt vingtoppen.

Stjärten verkar ha olika funktion vid olika hastigheter. Vid lägre hastighet är stjärten mer utspridd med starkare och mera åtskilda virvlar. Detta kan också bero på att kroppens anfallsvinkel är större vid låg hastighet. Styrkan på stjärtvirvlarna är omvänt beroende på toppvirvlarna. Detta tyder på att stjärten har till uppgift att ge lyftkraft när lyftkraften från vingarna är låg. Vid högre hastighet ger stjärten virvlar med omvänd riktning mot vid lägre hastighet genererande negativ lyftkraft. Då används stjärten troligen för styrning genom att åstadkomma ett uppåtvridande moment för att motverka ett nedåtvridande från vingarna.

När flyghastigheten ökar förblir vinkelhastigheten på svalornas vingar konstant så att när amplituden ökar så minskar frekvensen som om flygmusklerna drar ihop sig med en konstant hastighet. Vingarna är också ganska styva och dras inte in under uppslaget som hos andra fåglar. Detta syns på virvlarna där en avlösning av virvlar längs vingspannet syns både i ned- och uppslaget med positiva virvlar under nedslaget och negativa under uppslaget. Uppslaget är alltid mer aerodynamiskt aktivt än hos andra fåglar.

Normalt lämnar flaxande vingar ett par av toppvirvlar med nästan konstant cirkulation som svänger uppåt och neråt i takt med vingen. Nedslaget ger lyft och dragkraft medan uppslaget ger lyft men också negativ dragkraft genom luftmotstånd. Eftersom vingarna böjs under uppslaget är de aerodynamiska krafterna mindre och den resulterande nettodragkraften för fågeln framåt.

Med styva relativt oböjliga vingar lämnar svalans vingar förutom toppvirvlarna också virvlar längs vingspannet med olika riktning i upp- och nedslag [2].

Även insekter flyger med jämförelsevis styva vingar, men vaken från en svärmare vid 3.5 m/s visar till skillnad från svalan en blandning av positiva och negativa virvlar både i ned- och uppslag.

Den månskärelignande formen på svalornas vingar har visats vara effektiv i analytiska modeller. Styvheten på vingarna kan vara ett försök att behålla denna effektivitet i både rak flykt och svängar. Eftersom vingarna inte kröks i uppslaget som på många andra fåglar så blir vakvirvlarna annorlunda. Uppslaget verkar vara lika med nedslaget även om anfallsvinkeln på vingen minskar för att minska storleken på krafterna.



Tredimensionell vakstruktur hos en flygande tornseglare [2]. Grönt visar virvlarna från vingtopparna, rött är virvlar med positiv cirkulation uppåt längs vingspannet och blått negativt nedåt.

## Men fåglars flygning är mer komplicerad än man trott

**Fåglarnas flyghastighet är mer komplex än vad forskningen tidigare lyckats visa. I en ny studie från Lunds universitet i Sverige har forskare funnit att fåglar använder flera - var och en enkla men ändå effektiva - metoder för att styra sin hastighet i luften och kompensera för medvind, motvind och sidvind.**

Förra året visade biologerna Anders Hedenström och Susanne Åkesson att tärnors flyghastighet påverkades av morfologi, vikt och storlek på deras flock. Ju större flock desto snabbare hastigheten. Nu har forskarna utökat studien och inkluderat andra fåglar och fler faktorer som påverkar hastigheten.

I sin nya studie fokuserade forskarna på tre typer av vadare och övervakade fågelflockar i södra Öland med hjälp av en ornitodolit: ett kikarinstrument utrustat med laseravståndssökare och vinkelsensorer.

Genom att ansluta laserinstrumentet till en dator registrerade de ett tillräckligt antal positioner för att få en klar bild av fåglarna. De mätte också hastigheten och riktningen hos vinden på olika höjder. Vindmätningarna jämfördes därefter med de erhållna resultaten med användning av ornitodolit.

Forskarna kunde dra flera slutsatser. Fåglar kompenserar för motvind genom att öka frekvensen av sina vingslag och därmed flyga snabbare; De kompenserar för medvind genom färre vingslag i jämförelse med när det inte finns vind. När fåglarna flyger längs kusten hjälper kusten dem att kompensera för sidvind och undvika drift, vilket är svårare när man flyger över öppet vatten.



Vidare påverkar storleken på flockarna hastigheten på vadare på samma sätt som för tärnor. Forskarna har ännu inte upptäckt varför.

"Vi vet inte säkert, men vi tror att det finns en mekanistisk förklaring. helt enkelt, att de största, tyngsta och starkaste individerna bestämmer flockens hastighet", säger Anders Hedenström.

Studien visar också att den tunna luften på högre höjder hjälper fåglarna att flyga snabbare, och att ju snabbare en fågel stiger uppåt i luften, desto långsammare flyger den framåt.

"Våra resultat visar att fåglar anpassar sin flyghastighet till flera olika faktorer samtidigt och oberoende av varandra. Det betyder att det som kan tyckas oss som en enkel och okomplicerad typ av beteende, det vill säga flyghastighet, har en oväntat komplicerad bakgrund. "

**[The flight speed of birds is more complex than previously thought](#)**

## Varför är pilgrimsfalkar så dödliga

Pilgrimsfalkar är kända för sin jakt och flygning, men deras metoder har varit ett mysterium. En ny studie visar emellertid att deras strategi liknar den hos missiler och bobsleighåkare. [Vetenskap](#)



När det gäller jakt slår ingenting en slående falk. Genom att dra in sina vingar för att minimera motståndet kan de nå hastigheter på över 300 km/tim - oöverträffat i djurriket.

I årtionden har forskare försökt förstå hur rovfågeln bär sig åt utan att skada sig eller missa målet helt. En idé håller på att falken faller ut sina vingar precis innan den slår bytet, vilket minskar dess hastighet så att den kan göra några sista justeringar och undvika skador.

En studie publicerad i Computational Biology visar dock att strategin är mer komplex än så. Konsten är ett medfött navigeringssystem, som liknar det som finns i militärflygplan. Och medan fåglarnas attackframgångar kan variera efter plats, säsong, kön och måltyp, är det uppenbart att det finns viss förutsägbarhet bakom deras dyk.

Allt börjar med hastighet. Tidigare trodde forskare att extrema hastigheter var ett överraskningsmoment i attacken. Men detta verkade också kontraproduktivt för fågelns förmåga att på ett tillförlitligt sätt slå sitt byte. . . och att inte slå ihjäl sig själv efteråt.

När forskarna samlade in data via GPS på åtta falkar, insåg man att fågelns

hastigheter och banor var förvånansvärt väl förklarade av samma metoder som missiler använder för att fånga upp mål.

Ett sätt att träffa ett rörligt mål i luften är att mäta målets hastighet och riktning, beräkna när och var du ska göra kontakt och sedan starta framåt i rätt riktning, med exakt rätt hastighet. Men det är inte det mest effektiva tillvägagångssättet, eftersom det lämnar lite utrymme för att göra justeringar under flygningen. Därför använder moderna missiler proportionell navigering, där systemet ständigt förstorar upp synfältet och gör små justeringar på vägen.

På samma sätt använder en falk proportionell navigering genom att göra små justeringar i vingposition och hastighet före träffögonblicket. Hur falken bedömer vägen till målet är oklart, men forskare förutsäger att det antagligen är en kombination av tröghets- och visuella sensorer.

Ändå förklarar det inte varför falkar fungerar vid sådana extrema hastigheter. Därför skapade forskarna en datorsimulering som innehåller de olika aerodynamiska och biomekaniska mekanismerna för fågelflygning. Efter att ha kört miljontals simuleringar med

olika dykbanor hittade man många nya fördelar med hastighet.

Till exempel, hjälper dykning vid hög hastighet till att öka den aerodynamiska kraften, vilket leder till bättre manövrerbarhet. När falken drar tillbaka sina vingar och bygger fart, minimerar det behovet att styra. En brant attackvinkel sätter också fågeln i en mer direkt linje till bytet.

Förmodligen är det mest intressanta konstaterandet, att falken måste vara mycket kontrollerad för att upprätthålla en stabil bana. Det är som den koncentration som krävs av en Formel 1 förare vid 300 km/h.

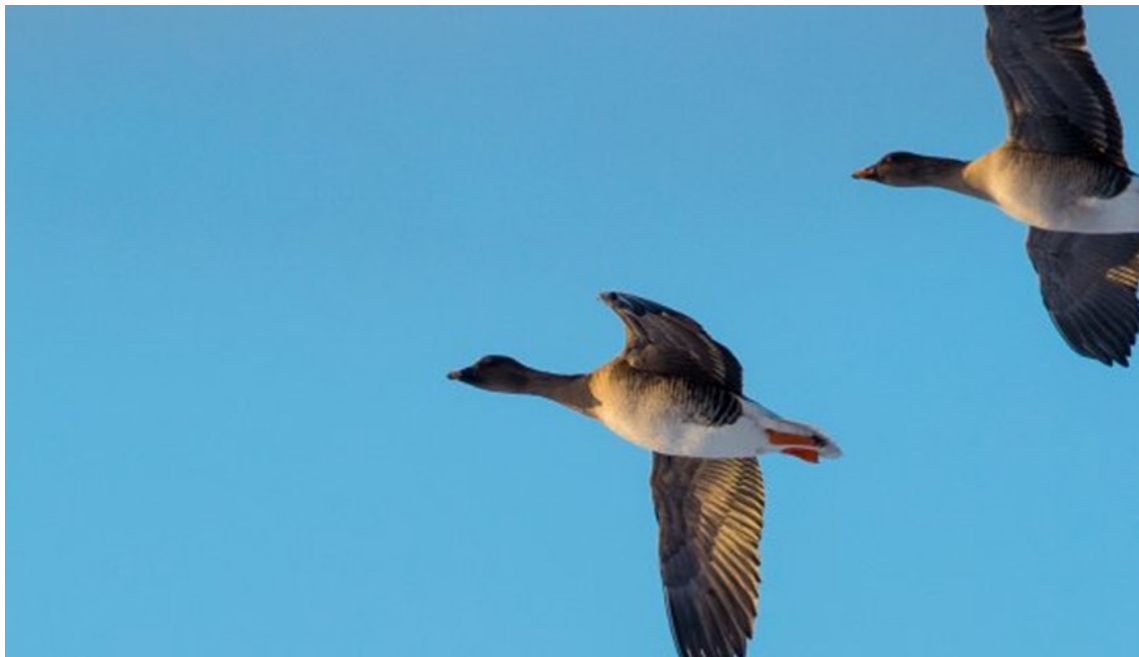
Medan simuleringarna ger några nya detaljer om falkarna, behöver de fortfarande verifieras i en verklig miljö. Man hoppas också att studera attackstrategierna för ytterligare rovfågelsarter för att se om de använder samma taktik.

Ny teknik har uppenbarligen varit en nyckelfaktor för att hjälpa forskare att förstå hur falkens dykning fungerar. Efter hundratals år av beundran för ett sådant mystifierande beteende, är vi nu närmare att fullt ut uppskatta och förstå de detaljer som gör det möjligt.



## Forskare upptäcker hemligheten med termikflyg

Flyttfåglar använder ofta varm, stigande luft vid flygning över långa avstånd. Forskare har funnit svaret på hur de bär sig åt. [Scientists determine how birds soar to great heights](#)



Termik, även kallad konvektion, uppstår när solen värmer jordens yta. På vissa punkter samlas varm luft och stiger. Som ett synligt tecken kan det ibland bildas cumulusmoln.

Fåglarna använder termik och gör det med liten ansträngning för att flyga långa sträckor även i turbulens. Hur hittar de den perfekta banan? Orienterar de på temperaturskillnader? Eller snarare på hastigheten hos de vertikala, termiska vindarna och rotationsvinkeln? Om man förstår hur fåglar fattar beslut kan man också lära sig att bygga bättre segelflygplan och drönare.

Redan flygpionjären Otto Lilienthal såg på storkar i luften och försökte förstå hemligheten bakom deras flygning. Mer än hundra år efter hans dödliga krasch nära Berlin studerar forskare fortfarande fåglar. Hur djuren rör sig i luften är en gåta ännu i denna dag på vissa områden. Nu har amerikanska fysiker försökt att analysera så kallad termikflykt hos flyttfåglar. Exakt hur fåglar navigerar inom denna ständigt föränderliga miljö för att optimera sin flygning har hittills varit okänt.

I en artikel i tidskriften *Proceedings of the National Academy of Sciences* har forskarna visat med matematiska modeller hur segelflygplan skulle kunna sväva mer effektivt genom att anta de inlärningsstrategier som fåglar använder för att navigera sig igenom termik. Forskarna studerade den komplicerade tekniken vid termikflygning med datormodeller. Ett tillvägagångssätt var så kallade självförstärkande inlärningsalgoritmer, där en pilot på ett segelflygplan utbildas kontinuerligt i en datorsimulering genom att han får omedelbar feedback på sina flygmanövrer.

Forskarna tog hänsyn till bankningsvinkel och angreppsvinkeln på segelflygplanets vingar samt hur temperaturvariationer inom termiken påverkade den vertikala hastigheten. De skriver i sin artikel att, baserat på deras studie så verkar "vridmoment och vertikala accelerationer" vara sensomotoriska ledtrådar som mest effektivt styr den väg fåglar tar genom termik. Temperaturförändringar inom vindarna spelade en mindre roll. För segelflygplan kan man därför sannolikt avstå från temperaturmätare till förmån för relativt enkla mekaniska instrument för mätning av vridmoment, skriver forskarna.

Denna information kan tillåta autonoma segelflygplan att flyga långa sträckor med minimal energiförbrukning. Genom att känna av vertikal vindacceleration och vridmoment kan segelflygplanet klättra och hålla sig inom termikkärnan där hissen är störst, vilket resulterar i förbättrade höjdprenstanda, även i närvaro av starka turbulenta svängningar. När turbulensen stiger kan segelflygplan undvika att förlora höjd genom att använda alltmer konservativa flygstrategier såsom att fortsätta längs samma väg snarare än att vända.

Otto Lilienthal störtade den 10 augusti, 1896 strax efter start från ett berg i Brandenburg från femton meters höjd. Forskare vid tyska Aerospace Center (DLR) har nyligen undersökt varför och kommit fram till att han kraschade med sin så kallade Segelapparat efter att ha fått för mycket uppvind och vikt sig. Det han höll på med hade dock ingenting med termikflygning att göra. Glidtalet på hans Segelapparat var så lågt att det var nästan mer av en kontrollerad störtning.

## Sover medan de flyger

**Forskare har för första gången bevisat att fåglar kan sova medan de flyger. Fregattfåglar verkar flyga i sömnen utan problem. Förmågan är sannolikt en nödvändig anpassning för fåglar som flyger långa sträckor. Det märkliga är att de klarar sig på mindre än en timmes sömn per dygn.**



Studien, som publiceras i [tidskriften "Nature Communications"](#) har utförts av ett internationellt forskarlag under ledning av biologer vid Max Planck-institutet i Tyskland. I sin redogörelse konstaterar de att vissa fågelarter, exempelvis många tornseglare, småvadare och havsfåglar, flyger non-stop i flera dagar, till och med veckor, när de flyttar mellan kontinenterna eller rör sig över oceanerna. Under flygningarna, som ofta varade i dagar behövde de betydligt mindre sömn än på land.

Frågan är hur de bär sig åt för att stilla sömnbehovet. Det har antagits att de sover medan de flyger. Bevis för detta har dock saknats, och vissa forskare har spekulerat i att några av arterna kanske har utvecklat anpassningar för att klara sig utan sömn över huvud taget under långa perioder.

För att få svar valde forskarna en havsfågel som studieobjekt — den större fregattfågeln (Fregata minor). Fregattfågeln är en liten familj med bara fem arter. De är stora fåglar med ett vingspann på över två meter — men de väger bara 1-1,5 kilo. Inga andra fåglar har lika stora vingar i förhållande till sin kroppsvikt. Som jämförelse kan nämnas att grågäss och kanadagäss, som väger uppemot fem kilo, har vingspann på bara 1,7 meter. Detta gör fregattfågeln till fenomenala akrobater i luften. De vänder på en femöring, stört dyker och tvärstannar i nästan en och samma rörelse.

De häckar på oceaniska öar i tropikerna. Resten av året tillbringar de ute till havs där de plockar fiskar och bläckfisk från havsytan. Ibland prejar de andra havsfåglar och stjälar deras fångst. Deras flygskicklighet kan behövas eftersom de till skillnad från andra havsfåglar inte har vattentät fjäderdräkt. De kan alltså inte landa på vattenytan, utan måste hela tiden hålla sig i luften.

Fregattfåglar färdas enorma sträckor över oceanerna. En nyligen publicerad studie i Science visar att de färdas i genomsnitt 410 kilometer varje dag — och att de befinner sig i luften i två månader i sträck utan att landa. Under den tiden

sover de i flykten, men bara knappt en timme per dag. De förbrukar förvånansvärt lite energi under tiden tack vare sin förmåga att glidflyga. Genom att utnyttja luftströmmarna kan de färdas över 60 kilometer utan ett enda vingslag.

Sover de något under denna tid? Ja, hävdar forskarna i den nya studien. De försåg fregattfåglar i en koloni på Galapagosöarna i Stilla havet med små specialbyggda apparater som mätte hjärnaktiviteten hos fåglarna under deras tid ute till havs för att se om de var vakna eller om de sov. Ornitologer utrustade dem också med anordningar för att mäta deras hjärnvågor under upp till tio dagar långa flygningar.

Apparaterna kunde skilja på två typer av sömn, dels djupsömn eller SWS (slow wave sleep), dels drömsömn eller REM-sömn (rapid eye movement sleep). Det visade sig att fåglarna faktiskt sov under korta perioder, trots att de befann sig i luften. Under dagtid var de vakna hela tiden, men på natten nickade de till upp till sex minuter åt gången. Forskargruppen fann att djuren kunde slumra fyrtiofem minuter per dygn i luften. Mestadels handlade det om djupsömn, men ibland även om drömsömn.

Intressant nog kunde de sova med en hjärnhalva åt gången, precis som delfiner, men ofta sov de med hela hjärnan samtidigt — märkligt nog utan att tappa kontroll över flygningen. De lyckades också undvika att kollidera med andra fåglar. Om de använde stigande luftströmmar i en cirkulär rörelse var vanligtvis den del i hjärnan vakna, som är förbunden med ett öga och att titta i flygriktningen.

Det märkligaste var dock hur korta sömnperioderna var. I genomsnitt sov fåglarna bara 42 minuter per dygn. Detta är en fenomenalt kort tid. En människa eller något annat däggdjur skulle kollapsa mycket snabbt med en sådan dygnsrytm. Uppenbart är att fåglar och däggdjur skiljer sig åt radikalt på den här punkten.

Även fregattfågeln tycks dock i slutändan lida av sömnbrist för när de väl kommer i land kan de sova mycket djupt

## Hur fåglar kan upptäcka jordens magnetfält

Forskare tror att fåglar kan använda kvantmekanik för att navigera, även i mörker och dimma. Vid Lunds Universitet har gjorts en viktig upptäckt om den inre magnetiska kompassen hos fåglar. Man har identifierat ett protein utan vilket fåglar förmodligen inte skulle kunna orientera sig med hjälp av jordens magnetfält. [How birds can detect the Earth's magnetic field | Lund University](#)



Receptorer, som känner av jordens magnetfält, ligger troligen i fåglarnas ögon. Nu har forskare vid Lunds universitet studerat olika proteiner i sebrafinkar och upptäckt att en av dem skiljer sig från de andra. Endast Cry4-proteinet bibehåller en konstant nivå under dagen och under olika ljusförhållanden.

Cry4 tillhör en grupp proteiner som kallas kryptokromer. Normalt reglerar de den biologiska klockan, men har också ansetts vara signifikanta för magnetisk känsla. Cry4 är en ideal magnetoreceptor eftersom proteinets nivå i ögonen är konstant. Det krävs av en receptor som används oavsett tid på dagen.

Slutsatsen är att detta specifika protein hjälper det magnetiska sinnet att fungera, medan andra kryptokromer, vars nivåer i kroppen varierar vid olika tidpunkter på dagen, tar hand om den biologiska klockan i stället.

Förra året noterade man att inte bara flyttfåglar navigerar med en magnetisk kompass. Även fåglar som inte migrerar under våren och hösten har en magnetisk känsla och navigerar med en inre magnetiska kompass. Detta tyder på att andra djur, kanske alla, har magnetiska receptorer och kan känna av

magnetfält.

Människor har försökt förstå hur djur vet var de går i mer än hundra år. I ett brev till Nature Magazine 1873 spekulerade Charles Darwin i att en känsla av "dödräkning" skulle kunna tillåta allt från flyttfåglar till nomader i Sibirien att hålla rätt kurs i okänd terräng. Sedan dess har forskare föreslagit djurkompasser baserade på luktsinne, memorerade landmärken, solens riktning, polarisation av ljus och till och med stjärnornas positioner.

I början av 1960-talet försökte tysken Wolfgang Wiltschko att bevisa att fåglar navigerade utifrån radiosignaler från stjärnorna. Under sina experiment låste han in fåglar i en ställbur med en Hemholtz-spole - en enhet som producerar ett likformigt magnetfält - och insåg att fåglarna omorienterade sig som svar på det. Han hade av misstag visat att magnetism, inte radiovågor, var grunden i djurnavigering.

Dessa resultat ledde forskare till en frenetisk sökning efter djurens magnetoreceptorer. De upptäckte järnpartiklar i duvor och höns, magnetit i öringars nosar och andra magnetiska molekyler i örnhåren av fåglar.

Man tror nu att ljuskänsliga proteiner -

kryptokromer - som har hittats i fåglar, fjärilar, fruktflugor, grodor och människor bland annat kan vara en lösning på mysteriet. När ljus slår på proteiner skapar det radikala par som börjar snurra synkront. de är intrasslade.

Den kemiska reaktionen varar bara för några mikrosekunder, men forskning visar att det är tillräckligt länge för jordens magnetfält att modulera kvaliteten och riktningen på elektronens spinn. Man fann också att de radikala paren blir känsligare för magnetfältet när de "slappnar av" - det vill säga när de övergår till jämvikt - om man tar hänsyn till yttre faktorer som omgivande temperatur. Därför tror man nu att sensorer i fåglars ögon undersöker spridningsstatusen för olika radikala par och sedan signalerar resultaten till hjärnan, så att fåglarna mer eller mindre kan "se" jordens magnetfält när de flyger igenom det.

Mycket forskning kvarstår för att kartlägga i detalj hur djur upptäcker och använder jordens magnetfält. Det som är klart är att det innefattar kemiska reaktioner som interagerar med magnetfältet. Denna kunskap skulle kunna vara användbar för att utveckla nya navigationssystem.

## Svärmintelligens

En hobbyfotograf tog denna prisbelönta ögonblicksbild. Den visar en flock av tusentals starar i Spanien, som har tagit form av en jätte fågel. Men varför bildar fåglar sådana svärmar och hur bär de sig åt?  
[Stare: Foto zeigt Vogelschwarm in ungewöhnlicher ... - Spiegel Online](#)



Det ser nästan alltför perfekt ut. Bilden tagen av den tyska hobbyfotografen Daniel Biber förra året visar hur en flock starar formerar sig till en jätte fågel. Biber, som driver en cykelbutik nära Bodensjön, hade studerat en flock böljande starar i flera dagar. När tusentals djur flyger i formation, förändrar de ständigt sin form. Även om svärmar av kajor visar ett liknande beteende, är ing andra fåglar lika imponerande som starar.

Bilderna togs på Costa Brava i nordöstra Spanien och svärmen behövde ungefär tio sekunder för att bilda den gigantiska fågelns form. Tydligt hade rovfåglar försökt att jaga svärmen. Därför förändrade stararna blixtnabbt formen på sin svärm för att undkomma attacken. Detta händer mycket ofta och ornitologer tror att stararnas pulserande dans, som kan ses på många platser i Europa varje höst, används främst för att försvara sig. Med den konstanta rörelsen i svärmen, där alla djur verkar fungera helt synkroniserade, gör de det svårare för rovfåglar att lyckas. Dessutom ökar storleken på svärmen den individuella chansen att överleva.

För att skaka av fienderna har stararna dessutom utvecklat en mycket speciell strategi. Om en hök flyger in i svärmen förtätar stararna den och utövar tryck på den större fågelns från alla håll. Slutligen kan rovfågeln inte använda sina vingar och faller ut ur svärmen så att stararna kan fly.

Men hur lyckas stararna flyga så homogent och elegant i en grupp och ändå ständigt byta form och riktning? Finns det

några ledarfåglar, som de andra styrs av? Nej, studier har visat att fåglarna handlar gemensamt. Det behöver ingen yttre styrning. Varje fågel orienterar sig i svärmen efter sina knappt halva dussin grannar och håller alltid samma avstånd till dem. Om en fågel ändrar riktning eller tempo, anpassar sig de andra och en typ av kedjereaktion utlöses, som gradvis sprider sig till hela flocken. Forskare talar om framväxande beteende. Bevis för denna mekanism har hittats i olika studier där fåglarnas beteende utvärderades med videokameror. Detsamma är känt om fiskstäm och simmande ånder.

I princip kan därför varje djur styra formationen. Men i praktiken är det kanske inte så. Självklart försöker stararna komma till mitten av svärmen, där de starkaste djuren flyger. Här är det säkraste stället att gömma sig från rovfåglar. Strävan att komma inåt mitten gör att de andra fåglarna orienterar sig efter de starkare fåglarna i mitten av flocken och flyger efter dem tror vissa forskare.

De mekanismer som fåglar använder har länge varit i fokus för forskning. Det är inte bara ornitologer som är intresserade av detta, men också fysiker, matematiker och ingenjörer. Redan i mitten av 1980-talet hade amerikanska forskare använt datorer för att utveckla en modell som simulerade fågelsvärmar. Det handlar om att förstå till exempel dynamiken i kollektiva rörelser i folkmassor och framförallt styrning av svärmar av militära drönare.





## Fåglar är byggda för fart

Fåglars flygning är starkt relaterad till deras kroppars uppbyggnad. Vissa fåglar är födda som ultimata hastighetsmaskiner andra för att stanna så länge som möjligt i luften och speciellt vingarna skiljer sig åt.

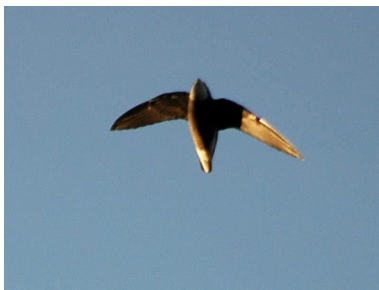
[Top 10 Fastest Birds In The World](#)  
[List of birds by flight speed - Wikipedia](#)  
[How Fast and High Do Birds Fly? - Stanford University](#)

Man kan säga mycket om hur en fågel lever bara utifrån dess vingform. Platta vingar med ganska högt sidoförhållande mellan längd och bredd som saknar slitsar och med fjädrar vid basen som effektiviserar bakkanten in mot kroppen, finns hos falkar, svalor och andra specialister på höghastighetsflygning.

Vid varje vingspets bildas en virvel i spiral när luft spills från högtrycksområdet under vingen till lågtrycksområdet över den. Att smalna av spetsarna minskar det område som utsätts för den motstånd-inducerande bildningen av virvlar.



Tornseglare är extremt anpassade till ett liv i luften och efter att de kläcks befinner sig många individer i luften från det att de lämnar boet tills de häckar första gången, vilket sker efter två till tre år. De uppträder mycket sällan på marken och ofta påstås det att de inte kan, eller har mycket svårt att lyfta från plant underlag. Detta är emellertid inte fallet för en frisk fågel. Utanför häckningstiden uppehåller de sig i luften under flera månader ofta utan avbrott. På högsommaren är de sociala fåglarna mycket närvarande i luftrummet över städerna med sina gälla skrik. Vid sina störtdykningar kan de uppnå hastigheter på över 200 km/h.



White-throated needletail bor i de steniga kullarna i Sibirien och Asien. Med en



maximal hastighet på 170 km/h är det världens snabbaste fågel i flaxande flygning. Den har långa böjda vingar och kraftfull kropp och är en flyttfågel. Innan vintern börjar flyttar den mot Sydästen och Australien. I slutet av vintern återvänder den till sina häckningsområden.

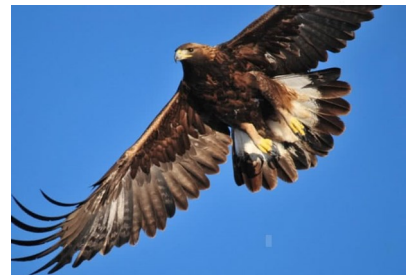
Avsmalnande vingar med högt förhållande mellan längd och bredd finns på svävande sjöfåglar. De flesta har vingar som smalnar av mer eller mindre till en punkt vid deras yttre spets.



Gråhuvad albatross är en stor havsfågel som häckar huvudsakligen i södra Atlanten. Som namnet antyder har den ett blågrått huvud och nacke och svartgrå stjärt. Med sitt 2,2 meters vingspann kan albatrossen flyga med en maximal hastighet på 125 km/h. Under foderfärdas de med normal hastighet på 110 km/h utan vila. Den utnyttjar starka stormar för att flyga snabbare.

Slitsar mellan fjädrarna vid vingspetsen sänker hastigheten med vilken luft som strömmar över vingspetsen kan orsaka tillräckligt med turbulens för att lyftkraften ska minska och fågeln börja sjunka. Slitsar underlättar således manövrering i låg hastighet.

Golden Eagle är den största rovfågeln i Nordamerika. Denna kraftfulla örn har



en längd mellan 50-100 cm och väger upp till 7 kg med en vingbredd av 2,3 meter. De dyker på sitt byte från hög höjd. Under ett dyk kan örnen nå en maximal hastighet på 320 km/h. Med de långa, breda vingarna kan den sväva i luften under lång tid. Den har också en mycket stark syn och kan upptäcka bytet från stora höjder. Den kan flyga på en höjd av 4500 meter.



Andinska kondoren är en massiv rovfågel som bor i de höga topparna och gräsbevuxna slätterna över hela Sydamerika. Det är en stor flygande fågel som väger upp till 15 kg. Andinska kondorer har det längsta vingspannet för någon rovfågel i världen. De älskar att glida i vinden och kan nå en maximal höjd på 4500 meter. Det är den nationella fågeln i Bolivia, Columbia, Chile och Ecuador. Tyvärr är den majestätiska fågeln en hotad art. Överjakt och livsmiljöförstöring är huvudorsakerna.





Spur Winged Goose är en stor vattenfågel som finns i våtmarker över hela Afrika. Den kan ha en längd mellan 75-100 cm och väga upp till 7 kg. Den har en vingsbredd mellan 1,5-2 meter. Med en maximal hastighet på 140 km/h är det den snabbaste gåsen i världen.

Vingar som är mer välvda (bågformade i tvärsnitt), med lågt sidoförhållande och välutvecklade slitsar, kännetecknar gamar och andra svävande landfåglar, medan spetsiga vingar med extremt högt sidoförhållande kännetecknar albatrosser och andra oceaniska svävare. Däremot har hökar som svävar över öppet land vingar med lägre sidoförhållande; och hökar, som jagar i skog (och ugglor som också jagar där) och måste kunna vända snabbt har ett ännu lägre sidoförhållande.

Intressant nog finns det lite samband mellan storleken på en fågel och hur snabbt den flyger. Både kolibrier och gäss kan nå ungefär samma maxhastigheter.

I allmänhet följer fåglar det skämtsamma råd, som ofta ges till piloter - "fly low and slow". De flestas hastigheter ligger i intervallet 30 till 50 km/h, med en ejder som har den snabbaste exakt klockade hastigheten på cirka 123 km/h.



Ejdern är en stor och tung dykare som mäter 60-70 cm. Det är en kortflyttande flyttfågel som häckar i norra Europa, nordöstra Sibirien, norra Nordamerika och arktiska delen av Atlanten. Den flyttar i stora flockar och övervintrar ofta könsseparerat. Den förekommer främst i marina miljöer men besöker insjövattnen tillfälligt-

vis.

Ejdern lever mest av kräft- och blötdjur som den dyker efter eller snappar på måttligt djup. Under häckningstiden tar den även insekter. Vingarna är breda, korta och små i förhållande till kroppen. Vingspannet ligger på 95-105 cm. Den väger ca 2 kg. Ejders kroppstorlek i förhållande till dess relativt små vingar och dess begränsade bröstmuskelmassa gör att den ligger nära gränsen för flygförmåga vid vindstilla förhållanden.

Det är naturligtvis en avsevärd skillnad mellan den hastighet med vilken en fågel kan flyga och den hastighet med vilken den normalt flyger. När fågeln är nära sin boplatz kan man förvänta sig att den ska minimera sin energianvändning per tidsenhet, det vill säga minimera sin ämnesomsättning, eller maximera den sträcka den färdas per förbrukad energienhet. En gam som svävar på himlen på jakt efter bytesdjur kan, som piloten på ett observationsflygplan, maximera uthålligheten; en sjöfågel som flyger till avlägsna födosöksplatser kan, som en Concorde som möter motvind på en transoceanisk flygning, maximera räckvidden. Fåglar kan också välja att maximera hastigheten, som när de jagas av ett rovdjur eller tävlar för att försvara ett territorium. Eller så kan de välja någon kompromiss mellan hastighet och räckvidd.

Mätningar visar att fåglarna i allmänhet kompromissar mellan att maximera sin räckvidd och att minimera sin ämnesomsättning med mer tonvikt på den förra. Flyghastigheterna varierar mycket, men nära den lägsta ämnesomsättningen kräver ganska stora förändringar i flyghastigheten inga dramatiska öknings av energiförbrukningen. Till exempel kunde en mås, vars mest effektiva svävande flyghastighet var 35 km/h, flyga i allt mellan 25 och 45 km/h utan att öka sin ämnesomsättning med mer än 15 procent.

De flesta fåglar flyger under 150 meter förutom under migration. Det finns ingen anledning att förbruka energi för att gå högre och det kan finnas faror som starka vindar eller rovfåglar på lägre höjd. När de flyttar stiger dock fåglarna ofta till relativt höga höjder, möjligen för att undvika uttorkning i den varmare luften nära marken.

I allmänhet verkar långväga migranter börja på cirka 1500 meter och sedan gradvis klättra till cirka 6000. Precis som för jetflygplan ökar den optimala kryssnings-

höjden för fåglar när deras "bränsle" förbrukas och deras vikt minskar. Gamar stiger ibland över 3000 meter för att skanna större områden efter mat. Fåglar kan flyga på höjder som skulle vara omöjliga för fladdermöss, eftersom fågellungor kan extrahera en större del av syre från luften än vad däggdjurslungor kan.

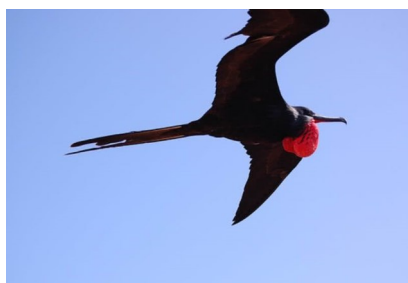


Sångsvanen är en stor flyttfågel som är uppkallad efter sitt "kikande" läte. De bor i översvämmade gräsmarker, våtmarker, tundror, sjöar och dammar i södra Eurasien. De är anmärkningsvärda för sin långa hals och gula och svarta näbb. På vintern migrerar svanarna till norra Europa. Under migration bildar de stora flockar som innehåller tusentals individer. De flyger i "V"-formationer under sin resa till vintern. Svanar flyger vanligtvis på en höjd av 2500 meter under migration, men de kan nå en maximal höjd på 8000 meter från havsnivån.

Det kanske mest imponerande höjrekordet är för en flock sångsvanar som sågs på radar anlända över Nordirland på migration och som visuellt identifierades av en flygbolagspilot på 8700 meter.

Utvecklingen har försett fåglar med många fysiska egenskaper förutom vingar och fjädrar. Ett av kraven är att kombinera styrka och låg vikt. Ett sätt att åstadkomma detta hos fåglar är genom sammansmältning och eliminering av vissa ben och "pneumatisering" (urholkning) av de återstående. Några av ryggbakbenen och några ben i bäckengördeln hos fåglar är också sammansmält till en enda struktur. Inte bara är några fågelben, till skillnad från våra, ihålliga, men många av hålorna är dessutom kopplade till andningsorganen. För att förhindra att de cylindriska väggarna på en fågels stora vingben buktar sig, har benen inre stagliknande förstärkningar.

Pneumatiseringen av fågelben ledde till tron att fåglar hade skelett som vägde proportionellt mindre än däggdjurens. Noggranna studier har visat att så inte är fallet. Mer krav ställs dock på en fågels skelett än på ett landlevande däggdjur. Det krävs ett stort och fast bröstben till vilket vingmuskulerna kan förankras. Således, medan vissa ben är mycket lättare än sina motsvarigheter hos däggdjuren, är andra tyngre. Resultaten kan bli ganska spektakulära: skelettet av en fregattfågel med ett tvåmeters vingspann väger mindre än fjädrarna som täcker det!



Fregattfågeln är en stor havsfågel som finns i tropiska regioner runt om i världen. Den har en vingbredd på 2,3 meter och jämfört med kroppsvikten det största vingspannet i världen. Fregattfågeln kan uppnå en maximal hastighet på 150 km/h. Den är också känd för att kunna stanna i luften upp till en vecka. Till skillnad från andra snabba fåglar kan fregattfåglar inte gå så bra på land, särskilt inte på havsstränder. För att fånga byten som flygfisk, krabbor och kräftdjur glider fregattfågeln i luften och plockar sitt byte i rätt ögonblick.

Alla fåglar har inte samma grad av skelett-pneumatisering. För att minska sin flytförmåga och göra dykningen lättare har vissa dykande fåglar som lommar relativt fasta ben. Dessa fåglar är i allmänhet mindre skickliga flygare än de med lättare skelett.

Fåglar har hittat andra sätt att lätta på belastningen förutom att urholka sina ben. Till exempel håller de sina fortplantningsorgan (testiklar, äggstockar och äggledare) små under större delen av året, och förstörar dem kraftigt bara under häckningssången.

Fåglarnas andningsorgan är också anpassade till flygets krav. Som man kan förvänta sig, är en fågels andningssystem proportionellt större och mycket effektivare än vårt, eftersom flygning är en mer krävande aktivitet än att gå eller springa.

En genomsnittlig fågel ägnar ungefär en femtedel av sin kroppsvolym åt sitt andningsorgan, ett genomsnittligt däggdjur bara ungefär en tjugondel. Däggdjurs andningsorgan består av lungor som är blinda säckar och av rör som förbinder dem med näsan och munnen. Under varje andetag byts bara en del av luften som finns i lungorna ut.

Däremot är fåglarnas lungor mindre flexibla och relativt små, men de är sammankopplade med ett system av stora, tunnväggiga luftsäckar i de främre och bakre delarna av kroppen. Dessa är i sin tur kopplade till lufrummen i benen.

Evolutionen har skapat ett genialiskt system som gör att luften passerar i ett enkelriktat tvåstegsflöde genom fågelns lungor. En andetag av inandningsluft passerar först in i de bakre luftsäckarna och sedan, vid utandning, in i lungorna. När ett andra andetag andas in i de bakre säckarna, rör sig luften från det första andetag från krympande lungor till de främre luftsäckarna. När den andra utandningen inträffar, rör sig luften från det första andetaget från de främre luftsäckarna och ut ur fågelns, medan det andra andetaget rör sig in i lungorna.

Luften rör sig alltså i en riktning genom lungorna. Alla fåglar har detta enkelriktade flödessystem. De flesta har ett andra tvåvägsflödessystem som kan utgöra så mycket som 20 procent av lungvolymen.

I båda systemen leds luften ner i fina tubuli som är sammanflätade med kapillärer, som transporterar syrefattigt venöst blod. I början av tubuli är den syrerika luften i nära kontakt med det syrehungriga blodet. Längre ner i tubuli är syrehalten i luft och blod i jämvikt.

Fåglarnas lungor är anatomiskt mycket komplexa, men de skapar en "tvärströms-cirkulation" av luft och blod som ger en större kapacitet för utbyte av syre och koldioxid över de tunna mellanliggande membranerna än i däggdjurslungor.

I motsats till vad man en gång trodde, är rytmen hos en fågels tvåtaktpump inte relaterad till vingslagen. Flygrörelser och andningsrörelser är oberoende. Hjärtat gör den pumpning som krävs för att få syresatt blod till vävnaderna och för att föra syrefattigt blod (laddat med koldioxid) bort från dem. På grund av effektiviteten hos fågelns andningsapparat kan

förhållandet mellan andetag och hjärtslag vara ganska lågt. Ett däggdjur tar ungefär ett andetag för var fjärde och ett halvt hjärtslag (oberoende av däggdjurets storlek), en fågel ungefär ett var sjätte till tiende hjärtslag (beroende på fågelns storlek).

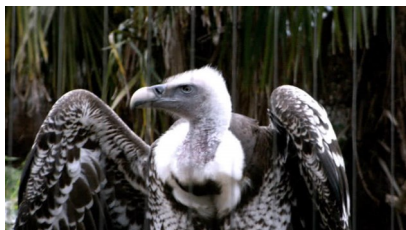


Med en toppfart på 390 km/h är pilgrimsfalken den snabbaste levande varelsen på jorden. Den finns på alla kontinenter utom Antarktis. Den vuxna falken har långa spetsiga vingar med kraftiga muskler. Den dyker på små fåglar från hög höjd. Normalt kan den döda sitt byte på nolltid på grund av den förvånande dykhastigheten.

Till skillnad från andra fåglar har falkarna ett starkt hjärta och mycket effektiva lungor, så att deras kropp får tillräckligt med syretillförsel även i den stora hastigheten de uppnår under ett dyk.

En fågels hjärta är stort, kraftfullt och av samma grundläggande design som ett däggdjurs. Det är en fyrkammarskonstruktion av två pumpar som arbetar sida vid sida. En tvåkammarpump tar emot syrerikt blod från lungorna och pumpar ut det till de väntande vävnaderna. Den andra pumpen tar emot syrefattigt blod från vävnaderna och pumpar det in i lungorna. Denna segregation av de två typerna av blod (som inte förekommer helt hos reptiler, amfibier och fiskar) gör en fågels cirkulationssystem, liksom dess andningssystem, väl rustat för att klara flygets påfrestringar.

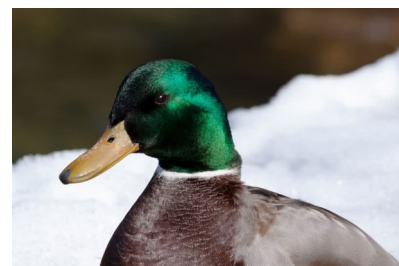




Flygande på en höjd av 11000 meter är annars Ruppells gam den högst flygande fågel som någonsin registrerats. Jämfört med marknivån är det mycket mindre syre på en så stor höjd, men Ruppells gam har en speciell typ av hemoglobin som gör syreintaget mer effektivt. Den har en ungefärlig längd på 1 meter och väger mellan 7-9 kg. Vingarna på Ruppells gam mäter mellan 2,3-2,5 meter. Den kan flyga med en hastighet av 35 km/h och kan stanna i luften i timmar.



Vit stork är en populär vadarfågel, som är känd för sin distinkta långa hals som mäter upp till 110 cm. De bor i varmare regioner över hela Europa och västra Centralasien. Storkarna har en vingbredd på 2,3 meter och deras vackra fjäderdräkt förekommer huvudsakligen i vitt. Vita storkar är starka migrerande fåglar. De tillbringar vintersäsongen i det tropiska Afrika och under migration bildar de stora flockar som innehåller tusentals medlemmar. Storkar kan nå en maximal höjd av 4800 meter.



Gräsanden är en flyttande anka som finns i Nordamerika och Europa. Gräsänderna är anmärkningsvärda för sitt skimrande gröna huvud och sin ljusgula näbb. Innan

vinterns början flyger gräsänderna till södern där temperaturen är mild. Gräsänder brukar flyga på en höjd av 300-1000 meter, men de har också setts flyga så högt som 6000 meter.



Vanlig trana är den högst flygande fågeln i världen näst Ruppells gam. De är kända för att flyga över Himalaya på en höjd av 10000 meter. Tranor lever i norra delar av Europa och Asien. Den medelstora fågeln har en vingbredd mellan 1,8-2,4 meter och övervintrar i norra Afrika. Tranor bildar stora "V"-formationer under migration.

Flygmuskulerna hos de flesta fåglar är röda till färgen ("mörkt kött") på grund av närvaron av många fibrer som innehåller röda syrebärande föreningar, myoglobin och cytochrom. De är också rikt försedda med blod och är designade för uthållig flygning.

Ljusare muskler ("vitt kött"), med många färre sådana fibrer, finns hos fasaner, ripa, vaktel och andra hönsfåglar. Dessa är också väl försedda med blod och är tydliga i kapabla att bära en tung arbetsbörda under en kort tid, men tröttnar snabbare.



Fasanen är en hönsfågel som ursprungligen bara fanns i södra Asien, men som introducerats till många platser runt om i världen däribland Europa och det finns tusentals i Sverige, där den på många håll har förvildats.

Slutligen gör det förstås föga nytta att kunna flyga snabbt eller länge om man

alltid kraschar in i saker. Även om fåglar har hittat många sätt att effektivisera, lätta eller helt eliminera onödiga delar (som urinblåsor), har de inte sparat in på nervsystemet. Fåglar har hjärnor som är proportionellt mycket större än ödlors och faktiskt jämförbara med gnagares. Hjärnan är kopplad till skarpa ögon och har gott om bearbetningscentra för att koordinera informationen som tas emot från dem. En fågels nerver kan snabbt överföra kommandon från hjärnan till musklerna som driver vingarna. Det är en kombination av synskärpa och snabbt beslutsfattande, Svalorna som tumlar om i luften har ett extremt effektivt reglersystem.



Gyrfalken är den största falken i världen. Den är känd för sina snabba dyk och långa spetsiga vingar. Den kan ha en längd mellan 50-60 cm och väga upp till 1,3 kg med en vingspännvidd av 125 cm från spets till spets. De dyker brant för att fånga byten från stora höjder och kan då nå en maximal hastighet på 210 km/h. Trots det har den också exceptionell kontroll under sitt snabba dyk. Dykningen innehåller många faser i vilka den ökar eller minskar hastigheten genom att ändra vingarnas position för att slutligen träffa rätt på det kanske rörliga bytet.

Liksom moderna missiler använder den proportionell navigering, där systemet ständigt förstorar upp synfältet och gör små justeringar på vägen. På samma sätt använder en falk proportionell navigering genom att göra små justeringar i vingsposition och hastighet före träffögonblicket.

## Fladdermöss-bättre än man tror

Däggdjur är ofta inga bra flygare. Våra katter och möjligen andra kattdjur har en mycket begränsad förmåga till fall-skärmsliknande flykt. När en katt faller till marken breder den ut sin kropp för att öka luftmotståndet. Katter har även en medfödd förmåga att vrida kroppen i luften så att den hamnar på tassarna när den når marken.

Det äldsta kända flygande däggdjuret påminde om en flygekorre men är inte besläktat med någon av dagens flygförmögna däggdjur utan placeras i en egen ordning. Den levde för minst 125 miljoner år sedan, mätte 12–14 cm och vägde cirka 70 gram.

Flygekorror återfinns över stora delar av världen och till och med i arktiska områden och använder ett pälsbeklätt skinnmembran som sitter fast på vristerna för att glida genom luften. I luften styr den genom att flytta positionen på benen. Den yviga svansen använder den för att öka luftmotståndet och stabilisera kroppen. Det finns dokumenterat att flygekorror kan glidflyga nittio meter.

Det enda däggdjur, som kan flyga aktivt är emellertid fladdermössen. Det finns mer än

tusen arter som alla kan flyga. Till skillnad från fåglar, av vilka några svävar lätt över enorma avstånd, verkar fladdermöss vara andra klassens flygare. Även om fladdermöss kan sväva övergående, kanske upp till en minut, kan de inte hålla ut så länge som kolibrier eller insekter. Även om fladdermöss flyger betydande avstånd på jakt efter mat, tenderar deras räckvidd att vara högst 800 km, medan fåglar som migrerar mellan Arktis och Antarktis täcker mer än 15 000 km.

Men det skulle vara ett misstag att betrakta fladdermöss som sämre än fåglar. De har i grunden olika vingar och även om fåglarna vinner när det gäller effektivitet och uthållighet, så är fladdermössen överlägsna i aerobisk förmåga. En brasiliansk fladdermus lär också ha uppnått hastigheter av upp till 44 m/s, vilket skulle göra den snabbare än någon fågel.

Fladdermusvingar är förlängningar av däggdjursarmar och bildas av membran med dubbla hudskikt som förenar fingrarnas ben. Membranet innehåller en kombination av muskler och elastiska fibrer för att hålla det styvt men ändå göra det möjligt att vika.



Fladdermöss är beroende av imponerande komplexa manövrer för att fånga byten i luften. De kan använda sina "fingar" för att anpassa formen på vingen för att utföra de mycket exakta akrobatiska rörelser som behövs för att fånga insekter i luften.

Det är känt att fladdermöss orienterar sig och jagar i mörker genom radar. Förlust av en ekolodssignal gör förstås då att de kan missa en lækker måltid, därför att någon annan hinner före. Men fladdermöss är listiga. Det finns tecken som tyder på att de använder störande teknik för att få sina kamrater att missa bytet de är ute efter.

Fladdermusen har också framförts som en intressant förebild för en flygande maskin. Den har till exempel ett radarsystem byggt på ultraljud som gör att den kan orientera i mörker. Här syns en fladdermus, som angriper en insekt på ett blad i mörker.

## Världens snabbaste djur är en fladdermus?

En brasiliansk fladdermus kan ha uppnått hastigheter upp till 44 m/s, vilket skulle göra den snabbare än någon fågel. [Speedy bat flies at 160km/h, smashing bird speed record | New Scientist](#)

De brasilianska fladdermössen är kända för sin exceptionellt snabba flygning och detta är de största flyghastigheter, som dokumenterats bland fladdermöss och fåglar. Man har alltid trott att fåglar flyger snabbare än fladdermöss, men den snabbaste fågeln i friflykt är tornseglaren ( *Apus apus* ), som når omkring 31 m/s.



Det finns fortfarande en hel del att lära sig om fladdermössens flygförmåga, men det är lätt att underskatta djur som är dolda från insyn på grund av nattliga vanor. Man vet att brasilianska fladdermöss flyger långa sträckor för säsongsmigration men också under deras nattliga sökande efter föda över avstånd på mer än 50 km mer än 1 km ovanför marken. De är väl anpassade till sin flyglivsstil, med långa, vinklade, smala vingar. Vingarnas hud är full av muskler som kan ändra hudens styvhet och därmed vingarnas form mer än hos fågel- eller insektsvingar.

### Men inte i dykning

Forskare som har spårat fåglar med Dopplerradar säger att de flesta fåglar flyger någonstans runt 10 m/s. Men änder och andra vattenfåglar flyger ofta dubbelt så snabbt. Pilgrimsfalken är den snabbaste fågeln - och i själva verket det snabbaste djuret på jorden - när den är i sitt jaktdyk. När den utför detta dyk, svänger falken upp till en stor höjd och dyker sedan brant i hastigheter över 90 m/s.

[Flying with the world's fastest bird | Earth | EarthSky](#)



Men om storleken är viktig, hör titeln världens snabbaste fågel faktiskt till den lilla kolibrin, avslöjar ny forskning.

[World's Fastest Flyer Is a Hummingbird? - National Geographic](#)

Kolibrierna dyker nästan alltid mot solen och de rör sig med 27 m/s, tekniskt långsammare än en falk, men när det gäller kroppsstorlek rör sig kolibrien med i genomsnitt 385 gånger sin egen kroppslängd på en sekund och falken med 200 kroppslängder. När de vänder upp från sina dyk måste kolibrier klara nästan tio gånger gravitationskraften, eller tio g. Racerbilar som accelererar från noll till 160 km/h på mindre än en sekund, utsätter sina förare för bara fem g.



## Fladdermöss använder superkänsl för att flyga med precision

Fladdermöss är beroende av imponerande komplexa flygmanövrer för att fånga byten i luften. Att förstå hur de hanterar dessa bedrifter kan leda till förbättringar i flygplan.



Forskare från Johns Hopkins University och Columbia University Medical Center har visat att fladdermöss kan ha sin utmärkta känsl att tacka för sin smidighet i luften. Enligt undersökningen, finns en unik samling av sensoriska receptorer som täcker djurens vingar och ger dem ständig återkoppling på förändringar i luftflödet. När forskarna stimulerade de små håren på vingarna med puffar luft, såg de omedelbara svar i fladdermössens sensoriska hjärncortex.

Fladdermöss har också ett ovanligt sätt att få dessa sinnesintryck från sina hårstrån till resten av kroppen. På grund av det sätt som fladdermusvingar utvecklats är fördelningen av deras nervbanor olika mot alla andra däggdjur. Nervceller i fladdermössens vingar kopplas inte bara till toppen av ryggmärgen, som är det vanliga. De skickar också signaler till den nedre delen av ryggmärgen. Denna ovanliga nervfördelning, skriver forskarna i studien, innebär förbättrad flygkontroll.

De tror att de har visat att en känsla av beröring är mycket viktigare för flygning med precision än man tidigare trott.

Tidigare har man oftare studerat hörsel och lukt. Men nu behöver de ta med känslan för att räkna ut hur fladdermöss kan ta in alla sensoriska data och förvandla det till en färdplan.

Som ett nästa steg kommer man att följa de sensoriska kretsarna i vingarna hela vägen från huden till hjärnan. I den föreliggande studien har man identifierat enskilda komponenter i dessa kretsar, men i nästa steg vill man se hur de är anslutna i det centrala nervsystemet. Ett ännu större mål är att förstå hur fladdermössen sammanställer sensorisk information från många receptorer i vingarna för att skapa en jämn, smidig flygning.

Forskarna hoppas att deras iakttagelser kan ge ett underlag för utveckling av nya flygplanskonstruktioner och att ingenjörer ska kunna utveckla liknande sensorer som hos fladdermössen för att reagera på turbulens och andra störningar.

Ref: [Washington Post](#)

## Fladdermöss stör varandras radar för att stjäla mat



### [Bats jam each other's sonar to steal meals - New Scientist](#)

Det är känt att fladdermöss orienterar sig och jagar i mörker genom radar. Förlust av en ekolodssignal gör då att de kan missa en lækker måltid därför att någon annan hinner före. Nu finns det tecken som tyder på att fladdermöss använder störande teknik för att få sina kamrater att missa bytet istället.

Ett ljud kan störa en fladdermus förmåga att extrahera information från ekon, som återvänder från ett byte. När många fladdermöss jagar i samma utrymme, kan de störa varandras ekon, vilket gör detektering svårare. Tidigare forskning har visat att fladdermöss kan komma runt denna störning genom att byta till andra frekvenser. Med hjälp av olika ljudfrekvenser för att kartlägga jaktmarkerna omkring kan många fladdermöss jaga i samma utrymme.

Störningen av varandras signaler kan vara oavsiktlig, en enkel konsekvens av att två fladdermöss försöker jaga nära varandra. Men man har också funnit avsiktligt sabotage av en kollega. Fladdermöss avger speciella ultraljudssignaler som stör ekolokaliseringen hos andra fladdermöss,

som attackerar samma byte. Störsignalen verkar ha utvecklats av evolutionen för att maximalt störa andra fladdermöss.

Vid oavsiktlig blockering används en enda frekvens, vilken kan undvikas genom att flytta till en annan frekvens. Men störsignalerna omfattar alla de frekvenser som används av den andra fladdermusen, så det finns ingen tillgänglig frekvens att flytta till. När man spelade upp inspelningar från dessa störsignaler fick man fladdermöss att missa sina mål.

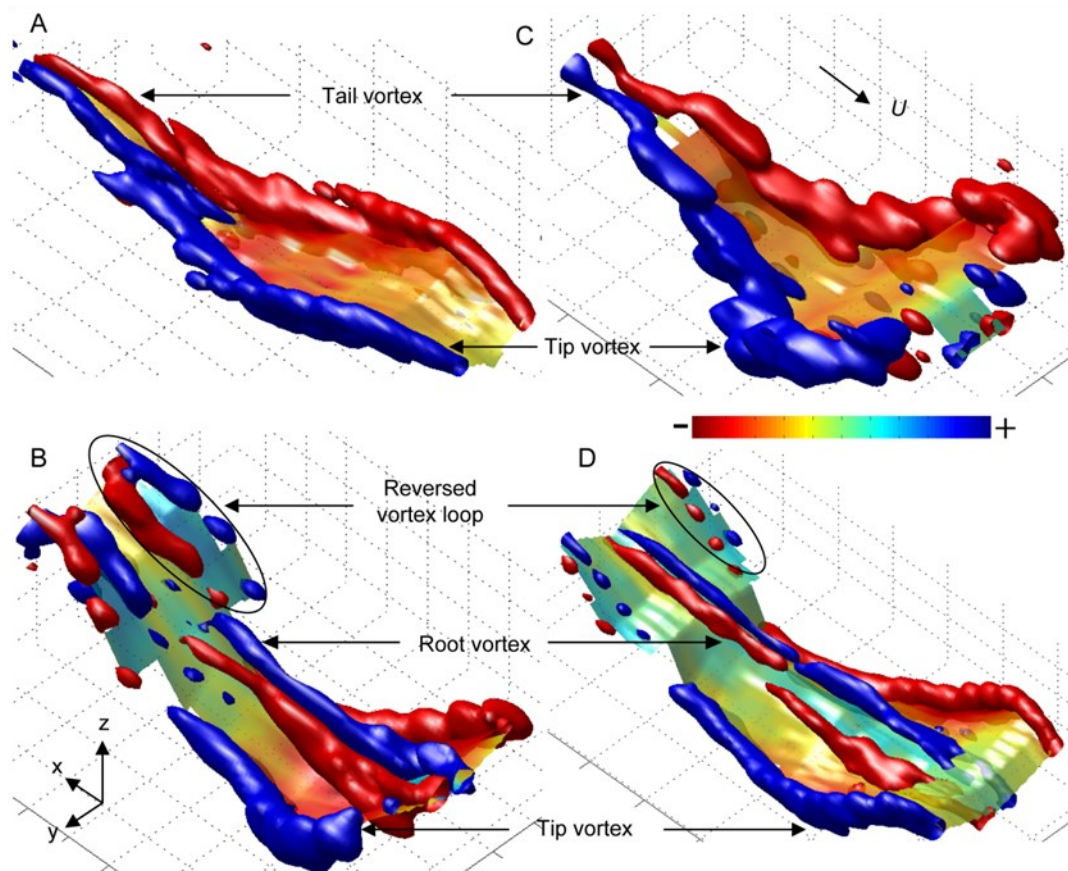
Man tror att fladdermöss gör så här mot varandra eftersom de lever tillsammans i stora mängder i hård konkurrens om samma föda. Men också bytena kan använda sig av det. En mal ( *Bertholdia trigona* ) skyddar sig från att bli fångad och uppäten av fladdermöss genom att ge ifrån sig en störtflod av högfrekventa klick, långt över området för människans hörsel, när en fladdermus närmar sig. Det är en kamp på liv och död i naturen och den driver på den tekniska utvecklingen.

## Skillnader mellan fladdermöss och fåglar

Skillnaden i flygförmåga mellan fåglar och fladdermöss beror också på vad som händer under uppslaget. Toppvirvlarna finns kvar under hela nedslaget men försvinner under uppslaget, tidigare för fåglarna än för fladdermössen. Fladdermöss, men inte fåglar, bildar ett virvelpar bakom vingen under senare delen av uppslaget, kallad "reversed vortex loop" i bild nedan. Bilden visar

virvlar för ett vingslag vid 7 m/s [5]. Överst två olika fåglar, underst två olika fladdermöss.

Dessa virvlar resulterar i negativ lyftkraft genom en uppström bakom yttre delen av vingen. Fladdermössen har alltså en mer komplicerad virvelstruktur med starkare rotvirvlar och reverserade virvlar.



Vingarna skiljer sig också åt på viktiga sätt. De yttre fjädrarna på en fågelvinge kan separeras så att luften kan passera igenom under uppslaget för att göra vingen aerodynamiskt inaktiv. Även om fladdermössens vingar är mycket flexibla kan de troligen inte göras inaktiva på samma sätt.

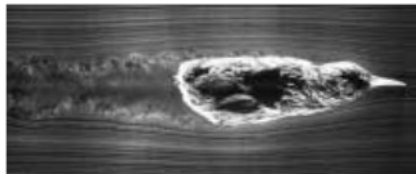
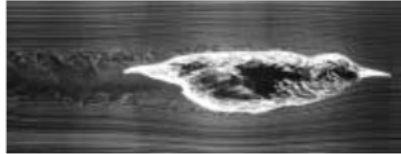
Hos fåglarna, men inte för fladdermössen, bildas ett nytt virvelpar närmare kroppen ungefär samtidigt som toppvirveln försvinner. Man antar att detta beror på samverkan mellan kropp och stjärt, kallad 'tail vortex' i bild ovan. Dessa virvlar finns kvar till slutet av uppslaget och kan tänkas bidra till lyftkraften.

Det visar sig att fåglarna är bättre än fladdermössen när

det gäller flygekonomi. Ett mått på detta är förhållandet mellan lyftkraft och motstånd  $L/D$ . För fåglarna är  $L/D=10$  men för fladdermössen  $L/D=5$ . Fåglarnas kroppar verkar alltså generera mer lyftkraft än fladdermössens.

Troligen beror det på att fladdermössens öron och nos, aktiva i ekolodsorienteringen, stör strömningen över kroppen. Under uppslaget drar också fåglarna in sina vingar så att de blir aerodynamiskt inaktiva medan fladdermössens membranvingar ger motstånd och negativ lyftkraft. Om fåglarna flyger mer ekonomiskt, är fladdermössen däremot förmodligen bättre på att manövrera och flyga långsamt, vilket också är viktigt för en MAV.

## Stjärtens betydelse



För att undersöka om skillnaden mellan fåglar och fladdermöss när det gällde flygekonomi berodde på att fåglarnas stjärt samverkade med virvlarna från vingrotten undersökte man fåglar både med och utan stjärt. Alla kan se att fåglarna använder sin stjärt under flygning medan fladdermöss och insekter saknar stjärt. Stjärten används naturligtvis för styrning på samma sätt som på ett flygplan men man kan fråga sig om den har någon aerodynamisk fördel.

Hos en fågel utan vingar fungerar stjärten som en splitter på en bil.

På bilderna till vänster av en död fågel provad i vindtunnel syns att vaken

bakom fågeln blir betydligt mindre med stjärt än utan. Detta innebär att motståndet blir mindre. Om man tar bort stjärten ökar motståndet med upp till 25% [6].

Man kunde emellertid inte se någon skillnad i virvelstrukturen hos en fågel med vingar. I själva verket hade en fågel med vingar och stjärt ett något högre motstånd än en utan stjärt. Detta till skillnad från proven utan vingar. Stjärtens betydelse vid kontinuerlig flykt är därför fortfarande osäker. En fågel kan trots allt flyga bra även utan stjärt genom att styra bara med vingarna.

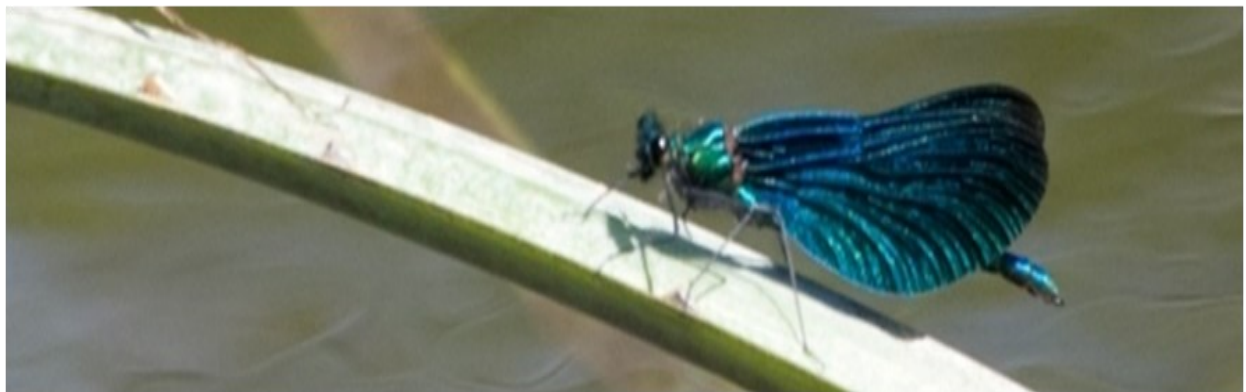
Formen har troligen också stor betydelse. Lyftkraften från en stjärt är proportionell mot dess maximala spännvidd medan motståndet beror på den totala våta arean. Fåglar förlorar därför i lyftkraft genom motstånd om de har svagt koniska stjärter. Delade stjärter som hos svalor bör däremot vara en vinst så länge inte längden går alltför långt bortom

punkten för maximal spännvidd. Observationer visar att stjärten är maximalt utfälld vid låga hastigheter för att ge hög lyftkraft i svängar och manövrer. När hastigheten ökar fälls stjärten ihop.

## Den viktiga framkantsvirveln

Förhållandena på själva vingen har också stor betydelse. Här har naturen åstadkommit en teknik som är mycket svår att efterlikna. Det finns ju en populär historia att humlan egentligen inte kan flyga. Det stämmer om dess vingar skulle uppföra sig som en vanlig flygplansvinge. Men naturen är mycket mera

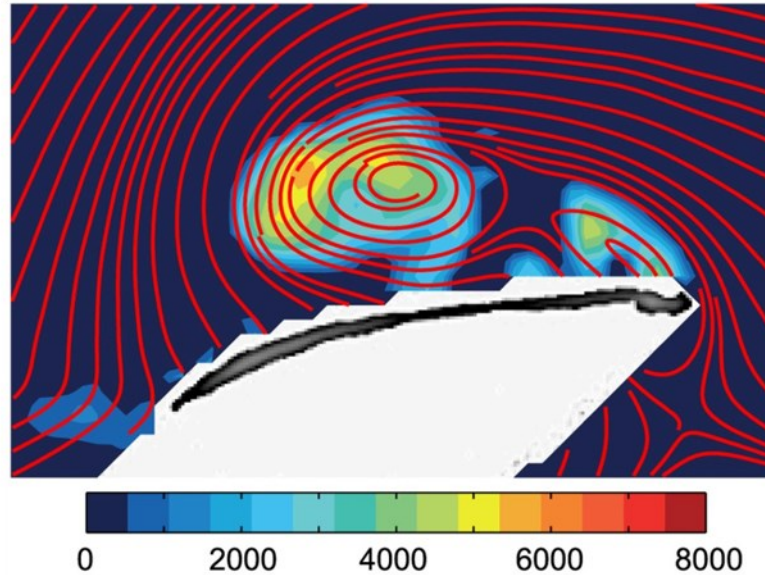
komplicerad än så. Man vet nu, att det som gör att humlan verkligen flyger är en virvel som bildas genom avlösning av strömningen vid framkanten av vingen. Denna virvel gör att strömningen kan återansluta till vingen före bakkanten och förhindra avlösning. Det gör att lyftkraften blir betydligt högre



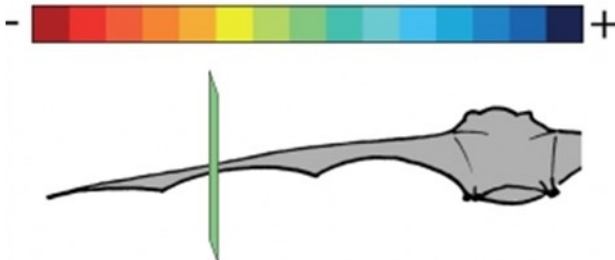
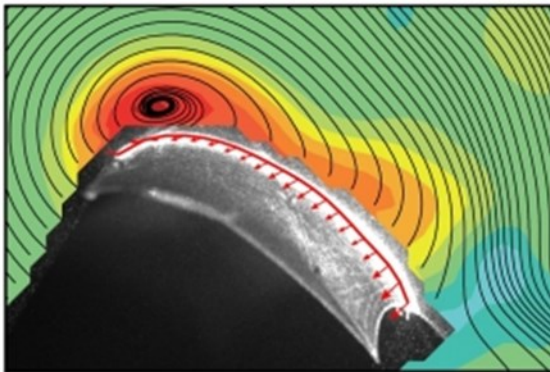
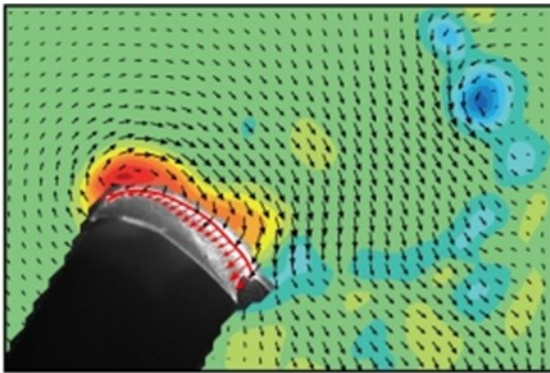
Man har i Lund studerat strömningen över fritt flygande svärmar, se ovan, för att undersöka framkantsvirvelns betydelse.



Insekter kan limmas fast så att man kan mäta på dem i vindtunneln. Man har i Lund studerat strömningen över vingen på fritt flygande svärmarare och hittat flera samtidiga virvlar av varierande styrka och struktur längs vingspannet, [7]. Vid roten av vingen finns en enda virvel medan det vid halva spannet finns flera, se bild till höger, och vid vingspetsen separerar strömningen. Hårceller längs vingen känner av virvlarna och troligen kan insekten förändra formen på vingen så att virvlarna stannar kvar.



Strömlinjer mitt i nedslaget på halva spännvidden på en svärmarare vid 2 m/s. Virvelstyrka enligt färger visar två distinkta virvlar ovanpå vingen.



Lyftkoefficienten är förhållandet mellan lyftkraften och den kraft som skulle uppstå om luften blåste rakt mot en vägg. För en idealisk vinge där hela luftströmmen vänds neråt skulle lyftkoefficienten maximalt kunna bli  $CL = 2$ . Under stationära förhållanden har man funnit att en fladdermusvinge skulle kunna nå en lyftkoefficient av  $CL = 1.6$ . För fladdermöss har man emellertid funnit att de behöver  $CL = 4$  för att hålla sig i luften när de flyger med hastigheten 1.5 m/s. Hur gör de?

När man använde PIV-tekniken för att studera strömningen runt vingen fann man att fladdermössen liksom insekterna lyckats skapa en fast virvel på över sidan av vings framkant [8].

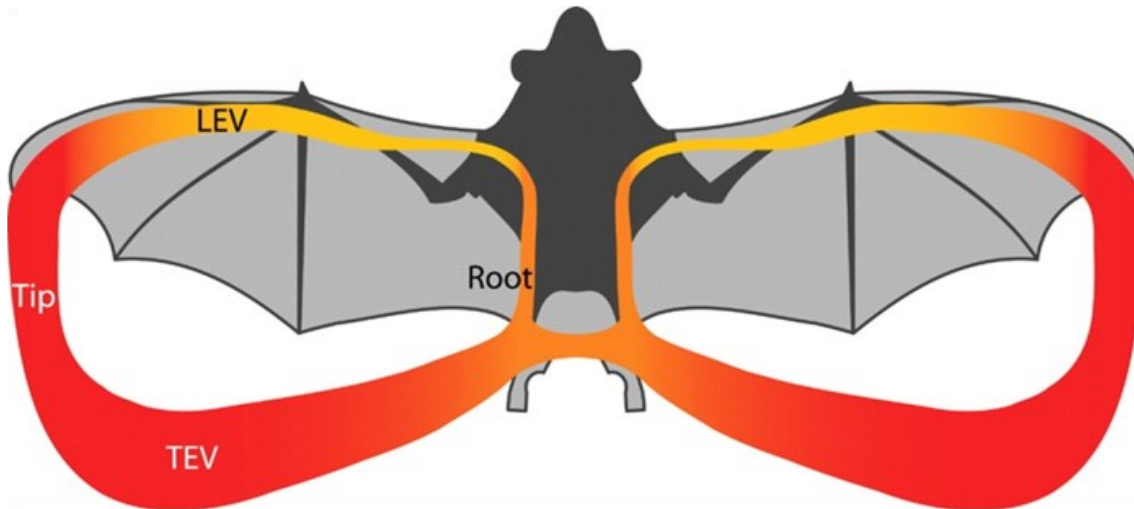
Toppvirveln ovanför vingen på en långsamt flygande fladdermus syns på bilden till vänster. Färgerna visar virvlarnas styrka. Överst hastighetsfält, därunder strömlinjer. Mätplanets läge är underst.

Fladdermusen kunde genom sådana framkantsvirvlar uppnå en maximal lyftkraftskoefficient av 4.8 vid låg hastighet, alltså mer än de 4.0 som behövdes. Luften som passerar över virveln återansluter till vingen även vid höga anfallsvinklar och vingkrökning.

Den skarpa framkanten på fladdermusvingen underlättar troligen bildandet av framkantsvirveln medan förmågan att aktivt ändra vingen form och lutning kan bidra till att bevara den under vingslaget.



## Virvlarna på en fladdermus

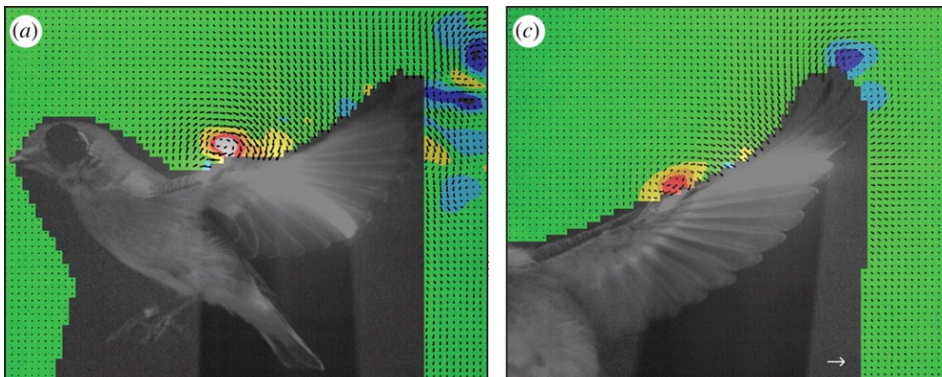


Virvelsystemet på en fladdermus under nedslaget syns ovan när vingen är horisontell vid en flyghastighet av 1 m/s [8]. Gul är låg cirkulation och röd hög.

När vingen börjar gå nedåt bildas en startvirvel vid bakkan-  
ten. Under nedslaget förflyttas denna virvel nedåt och  
bakåt bakom vingen. Den ansluter till en rot och en  
toppvirvel på vardera vingen. Dessa ökar i längd under  
nedslaget och är förbundna med en virvel som bildas vid  
framkanten. Framkantsvirvelns cirkulation är densamma  
som rotvirvelns varför de troligen är förbundna så att det

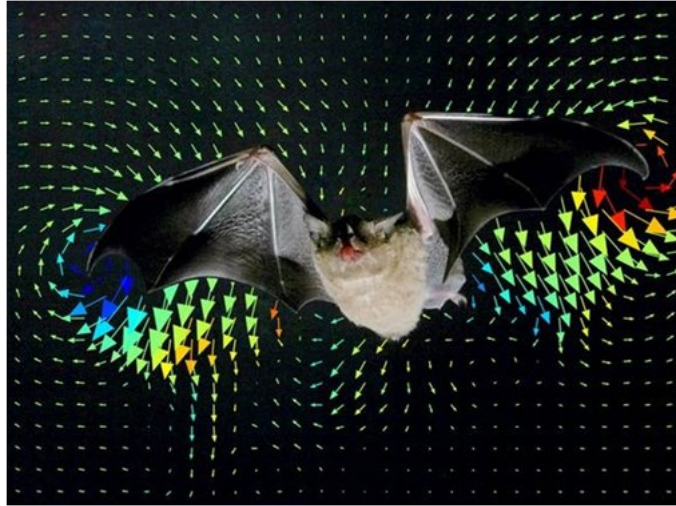
inte finns någon framkantsvirvel tvärs kroppen.

Fåglar har också förmågan att bilda framkantsvirvlar som  
visas nedan från ett experiment med en flugsnappare i  
vindtunneln i Lund [9] vid 1 m/s. Virveln bidrar med så  
mycket som 49 procent till lyftkraften vid dessa låga  
hastigheter. Detta visar att tekniken med framkantsvirvlar  
inte bara används av insekter utan också av större djur som  
fladdermöss och fåglar.



Virvel över vingen på en flugfångare vid 1 m/s på två olika platser på vingen..

## Virvlarna från en fladdermus skiljer sig från en fågels



I Lund har virvlarna uppmätts vid 7 m/s för två slag av fåglar och fladdermöss [4]. Virvlarna från en fågel skiljer sig från dem hos en fladdermus. För både fladdermöss och fåglar bildas en toppvirvel vid början av nedslaget. I Lund har man funnit att fladdermöss har starka virvlar från vingroten med motsatt riktning till virvlarna från vingtopparna. Det resulterar i en svagare nedström bakom kroppen, vilket minskar lyftkraften medan motståndet ökar.

Fåglar visar sig däremot ha svaga virvlar från vingroten med både motsatt och samma riktning som virvlarna från vingtopparna, se bilden på den glidflygande tornseglaren på sidan 11 ovan. Detta visar att inte bara vingarna utan

också själva kroppen bidrar till lyftkraften. För fåglarna försvinner dessutom rotvirvlarna omedelbart efter det att nedslaget startat medan fladdermössens rotvirvel är kvar under hela nedslaget [5]. Troligen beror detta på skillnaden i kroppsform mellan fåglar och fladdermöss.

Luftens strömning runt en flygande fladdermus vid 4 m/s visas i bilden ovan. Virvlarna vid vingtopparna är i rött. De svagare motsatta virvlarna vid vingrötterna är i blått. Virvlarna vid vingroten är ungefär hälften så starka som vid topparna.

## Vad vi kan lära oss av naturen

Flygning har aldrig slutat att fascinera människor, och allt fler vänder sig till levande organismer för att finna lösningar på mekaniska problem när det gäller flygning. Främst gäller det fåglar, fladdermöss och insekter, men även fossila former kan bidra till nästa generation flygplan och robotar.

Tanken är att miljontals år av evolution, genom försök och fel med naturligt urval, har utvecklat extraordinära verktyg som utnyttjar naturlagar på unika och komplexa sätt. Ett exempel är kungsfiskarens näbb, som var inspirationen till en ny typ av noskon för höghastighetståg i Japan. Ett annat exempel är att ingenjörer från universitetet Virginia Tech i USA säger att vindturbinblad inspirerade av ugglefjädrar kan erbjuda ett sätt att minska buller från motorer eller vindkraftverk.

En utmanande skillnad mellan flygplan och organismer är den flexibla morfologi som visas av flygande djur. Medan vingarna av lönnfrön är lika stela som flygplansvingar, är insektsvingar till sin natur flexibla, fladdermusvingar har muskelfibrer i sitt vingmembran som aktivt kan sträcka vingens yta, och fåglar kan dramatiskt ändra formen på sina vingar genom förflyttning av leder och överlappande fjädrar, samtidigt som de behåller en effektiv aerodynamisk form.

Flygplan använder en elliptisk

fördelning av aerodynamiska krafter längs vingen enligt en rekommendation av Ludwig Prandtl från 1921. Det kräver att flygplanet har en stjärtfena för att inte gira i sidled vid roll. Nu visar det sig att fåglar använder en klockformad lastfördelning också studerad av Prandtl från 1933. Då behövs ingen stjärtfena och bränsleförbrukningen på ett flygplan skulle kunna minska med 11 %.

Trollsländor är urgamla djur som funnits på jorden länge. Trots det vet man inte allt om dem. Med hjälp av ny teknik avslöjas en del av hemligheten bakom insektens speciella flygförmåga. Forskning om dessa flygfän kan ge bättre vindkraft

I årtatal har forskare som strävar efter att bredda flygförmåga försökt avkoda en av naturens bäst bevarade hemligheter: hur kolibrier flyger. Det är en hybrid av hur fåglar och insekter flyger. En sådan färdighet kan ha tillämpningar som sträcker sig från att hitta offer som fångats i kollapsade byggnader till drönbaserat spionage. Forskare från Purdue University har nu byggt en flygrobot med förmåga att efterlikna och lära sig en kolibris beteende.

Små insektslika drönare kan vara till nytta för övervakning i katastrofområden eller genomförande av varuleveransen till människor i otillgängliga trakter. Men tekniken är fortfarande ny och drönarna har en hög risk för att köra in i

varandra i trånga utrymmen. Forskare har skapat ett konstgjort öga och navigations-system som liknar insekters för att lösa detta problem.

En djupare förståelse för hur en fågels eller insekts hjärna styr flygningen skulle vara mycket välkommet när det gäller att konstruera styrsystem för autonoma flygfarkoster.

En ambitiös plan för att använda hjärnans funktioner hos honungsbin och myror inom drönare är under utveckling vid University of Sussex, University of Sheffield och Queen Mary University of London. Forskarna använder virtuell verklighet, maskininläring och radarverktyg för att studera bin i hopp om att översätta resultaten till ny drönarteknik..

Trollsländor har små hjärnor och nästan ingen djupuppfattning, men lyckas ändå fånga cirka 95% av sitt byte i luften. Hittills har man trott att huvudsakligen däggdjur, såsom människan, är kapabla att förutsäga var rörliga föremål kommer att befinna sig inom en snar framtid. Nu har forskare från bland annat Lunds universitet och vid det amerikanska energidepartementet lyckats visa att trollsländor kan förutsäga vart bytesdjur som rör sig är på väg. Denna kunskap kan leda till innovationer inom områden som robotvision och autonoma fordon samt gynna utvecklingen av vägledningssystem för missilförsvar.

## Forntida lösningar på moderna flygproblem

Forskare från University of Bristol har studerat hur flygande dinosaurier kan ge lösningar på moderna flygproblem, med fokus på pterosaurierna, de största djur som någonsin har flugit. Här är en sammanfattning av deras rapport: [Trends in Ecology and Evolution](#)

Allt fler vänder sig till levande organismer för att finna lösningar på mekaniska problem när det gäller flygning. Främst gäller det fåglar, fladdermöss och insekter men även fossila former ger en uppsjö av strukturer och integrerade system, som kan bidra till nästa generation flygplan och robotar.

Djurflykt är ekologiskt viktig och har en lång evolutionär historia. Den har utvecklats självständigt i många avlägset besläktade klasser av djur och förekommer i många olika former.

Fallskärmshoppning används vanligtvis av djur som är passiva flygare (dvs. inte flaxar) och som i sitt fall nedåt förlorar mer i höjd än de tillryggalägger horisontellt. Många djur har begränsad flygförmåga och gör kontrollerade fall med något reducerad hastighet (t.ex. vissa ekorrar och grodor).

Glidning används av djur som rör sig längre horisontellt än de faller. Detta passiva flygsätt är vanligt hos däggdjur, men omfattar också arter som flygande ormar och ödlor.

Segelflyg är en form av passiv flygning som innebär att använda externa källor som termik eller vindgradienter för att få höjd och glida till en ny plats, vilket gör detta till en mycket effektiv form av flygning hos t ex gamar och albatrosser.

Aktiv flygning slutligen avser de djur som ägnar sig åt flaxande flygning och som kan öka sin höjd i stilla luft. Aktiv flygning har bara utvecklats tre gånger inom ryggradsdjur hos fåglar, fladdermöss och de utdöda pterosaurierna och en gång hos de ryggradslösa insekterna.

En mellanform används av flygande fiskar, som inte flaxar med sina "vingar" (bröstfenorna) men använder dem för att passivt ge lyft medan stjärten paddlar i vattnet för att ge dragkraft.

Vanligtvis studerar man moderna fåglar och insekter för att hitta ledtrådar från naturen för att utveckla flygtekniken. De utdöda pterosaurierna fungerar inte lika ofta som inspiration för flygning. Men det finns några pterosaurfossil som kan ge insikt i dinosaurvingarnas anatomi, vilket är viktigt

### Den gigantiska pterosauriern Hatzegopteryx Källa: Mark Witton



för att förstå deras flykt.

För närvarande finns det två till tre välbevarade pterosaurfossil som gör det möjligt för forskare att se olika lager i vingmembranet, vilket ger insikt i dess fibrösa komponenter. Vissa är till och med så bevarade att de visar vingfästen under höften. Membranfästena kan visa effektiviteten hos vingformerna och avslöjar vad som fungerade bäst för flygning.

Dessa nya data har kraftigt ökat förståelsen för hur flygande djur löst stora flygutmaningar, inklusive nya evolutionära lösningar som inte setts i levande arter.

Utvecklingen av aktiv flygning hos djur omfattar i slutändan tre viktiga komponenter: starten, ett lyftproducerande vingslag och kontroll under flygning. Dessa egenskaper är alla inbördes relaterade och har förmodligen utvecklats delvis parallellt, men sannolikt bit för bit.

Start och landning är kritiska faser i flygning och är sannolikt det, som begränsar maximal storlek för flygande djur. Medan de största urtida flygande fåglarna samlas runt 75 kg, samlas de största pterosaurierna runt nästan 300 kg.

Användningen av benen för att starta från en yta är allmän hos flygande djur. Hos småfåglar som kolibrier härrör omkring 50% av startkraften från benen och för andra fåglar består ofta 80

–90 % av starten av att hoppa eller springa. Glidande däggdjur tar fart genom att hoppa och glidande ormar är de enda ormar som verkligen kan hoppa i biomekanisk mening, vilket belyser vikten av att hoppa för djurflykt.

Baserat på benens tvärsnittsegenskaper har det varit hypotesen att många (om inte de flesta) pterosaurier startade via fyrbenta hopp. Detta var sannolikt en viktig faktor, som möjliggjorde jättestorleken hos pterosaurer även om deras membranvingar också bidrog till en högre gräns för maximal storlek genom att ge högre maximala lyftkoefficienter än fåglarnas jämförelsevis tjocka vingar.

Flygande djur utmärker sig för plötslig start, landning på ojämn terräng och snabb in- och utfällning av vingar före och efter flygning. Mekaniska konstruktioner utför för närvarande dessa uppgifter mycket sämre än djur. Biologiska lösningar kan vara en viktig guide till framtida förbättringar i start och landning av obemannade flygplan (UAV). Pterosaurier kan vara särskilt informativa i detta avseende, eftersom deras startsystem var effektivt över ett brett spektrum av kroppsstorlekar. Med kropps vikter, som sträckte sig från några tiotals gram till en bra bit över 200 kg (och möjligen över 300 kg), överlappade pterosaurier mycket av storleksintervallet, som är relevant för moderna drönare.



## Forntida lösningar

Drönare kräver en plan yta för att starta och har begränsade metoder för hur de upprätthåller flygningen. Pterosaur-metoden kan hjälpa till att övervinna dessa begränsningar. Analys av flygmekanik har avslöjat nya taktiker som moderna fåglar inte har. I dag startar djur i flykt med ett starkt språng eller hopp, känt som en ballistisk lansering. Större fåglar behöver en löpande start. Men pterosaurier kunde börja flyga från ett stillastående läge trots att de vägde omkring 300 kg. Vingmembranet och de robusta muskelfästena gjorde det möjligt för dem att göra ett högdrivet språng med hjälp av armbågarna och handleden.

Sällsyntheten av aktiv flygning kan vara ett resultat av de relativt stränga kraven på att generera tillräcklig kraft för att övervinna luftmotstånd och motstå de stora resulterande krafterna (trots låg vikt), samtidigt som det också krävs styrning. Dessa fysiska krav kräver skelett med hög styvhet, höga viktförhållanden och sofistikerade kontrolltor.

Flygtytan hos flygande ryggradsdjur är morfologiskt varierande, alltifrån en beffädrad vinge med mycket anpassade flygfjädrar (fåglar) till långa fingrar med membran som sträcks mellan dem (fladdermöss) till ett enda långt finger med ett stort membran utsträckt till kroppen (pterosaurier). Mer unika morfologier är nu kända från fossila fynd med hybridstrukturer inklusive membrana beffädrade vingar och fyrvingade biplan-liknande djur. Hos olika små, beffädrade dinosaurier som var nära ursprunget till fåglar ingår former som tydligen kunde fallskärma eller glida baserat på vingar på framben och bakben som producerade en kombination av lyft och styrtor, förstärkta av en bred flik av fjädrar på stjärten.

De mesozoiska pterosaurerna var drivna flygare, som hade en komplex och flerskiktad membranvinge stödd av ett enda spant (armen och ett avlångt fjärde finger). Ytterligare mindre membran i för- och bakkant assisterade med kontroll. De största pterosaurerna nådde över 10 m i vingspann, 300 kg i vikt, och hade skallar kanske 3 m långa, långt över alla andra kända flygande djur i storlek och vikt.

Även om vissa begränsade försök har gjorts att bygga farkoster baserade på pterosaurier är de fortfarande en förbi-

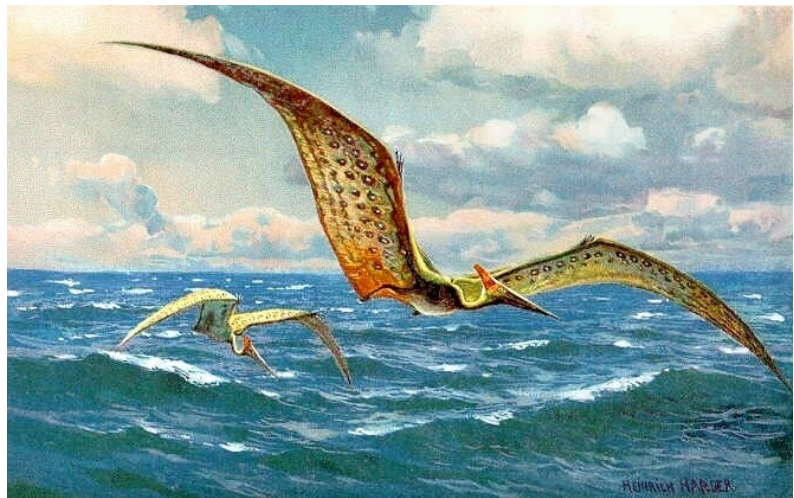
sedd modell för flygande maskiner, och kan ge ytterligare nya planformer som kan utnyttjas. Fossil visar att verkligen nya och, viktigast av allt, oförutsägbara, kombinationer av flygande funktioner fortfarande kan upptäckas.

Flygande ryggradsdjur kan optimera sina vingprestanda till förändrade förhållanden genom att ändra sin vingform under flygning. När det gäller vingformande överträffar flygande djur betydligt befintliga tillverkade system. Ett nyckeltal är glidtalet dvs förhållandet mellan lyftkraft och motstånd ( $L/D$ ) eftersom ett högt sådant ger minsta glidvinkel. Fåglar, i synnerhet, har betydande vingformande strategier för att uppnå förbättrade  $L/D$  under flygning

Pterosauriernas flygmembran bestod av minst tre distinkta vävnadslager med actinofibriller. Dessa fungerade sannolikt på ett strukturellt sätt genom att öka membranets dragstyrka och flexibilitet. Alla fossil som har relevanta proportioner bevarade och icke snedvridna visar membran, som fäster på underbenet.

Vindtunneltester tyder på att pterosaurvingen sannolikt var anpassad för att generera och fungera med relativt höga  $L/D$ . Pterosaurier var därför förmodligen inte väl anpassade för att flyga i höga hastigheter utan var istället effektiva vid låg hastighet. Detta skulle ha gett betydande fördelar under termik och tillät även landningar med låg hastighet. Dessa minskade också energibehovet vid start med stora kroppsstorlekar.

Optimering för långsam, mycket manövrerbar flygning är relevant för



UAV:er (både kommersiella och militära), där miljöerna är mycket röriga och målytorna för landning kan vara små. Där kan djur, som är anpassade för att flyga på höglyftskoefficienter, både levande och fossila, ha en hel del att erbjuda ingenjörer när det gäller form och materiell optimering.

Nyare arbete tyder på att den maximala startvikten för pterosaurier kan ha varit hög, på grund av den höga maximala lyftkoefficienten för deras vingar och deras potential för fyrbent lansering. Anatomiska bevis i kombination med mekaniska begränsningar tyder på att de största kända pterosaurerna, med vingspann på över 10 m, fortfarande inte var vid en mekanisk gräns för lansering och flygning. Detaljerade biomekaniska studier där de största pterosaurerna jämförs med fåglar visar att flygning är möjligt med vingspann uppåt 15 m vid den låga flyghastighet som förutspås för pterosaurier. Detta är möjligt på grund av den stora bröst- och flygmuskulatur som finns i pterosaurier, vilket utgör cirka 40% av deras totala kroppsmassa.

Pterosaurer hade ett andningssystem som består av en serie lungluftsäckar i huvudkroppshålan men också i vingarna. Detta resulterade i att vingbenen ofta var ihålliga. Några stora pterosauriers vingben är till kanske 90% fyllda med luft. Dessa tunnväggiga pneumatiska vingben blir mer motståndskraftiga mot böjning då benets diameter ökar, ett viktigt inslag när djurets massa ökar och böjningsbelastningarna på vingarna blir större.



Eftersom vingarna hos flygande djur inte är fasta, kan de justera den relativa vinkeln för svep av vingarna kontinuerligt för att stabilisera sig t ex genom att låta krökningen av vingen vända i en del av vingen, så att det bildas ett område där den övre ytan av vingen är konkav i stället för den nedre. Detta kräver en formbar vinge med komplex kontroll. Framför allt pterosaurier verkar ha haft egenskaper som gjorde det möjligt för dem att använda den metoden, sannolikt i samband med framåt vingsvep.

Mekaniska överväganden visar att pterosaur vingar måste ha haft en konkav bakre del för att undvika aeroelastisk instabilitet. Korrekt spänning av membranvingar i pterosaurier skulle ha varit omöjligt med en konvex bakre del på grund av den enda spantkonstruktionen. En teoretiskt mest effektiv vingform skulle kombinera en formad vingtopp (med stöd av både mjuk vävnad och ben) med främre svep för att minimera inducerat motstånd och ge passiv statisk stabilitet.

Det finns ett antal anatomiska och funktionella aspekter av utdöda organismer som potentiellt kan användas för att förbättra utformningen av befintliga flygplan eller utgöra grunden för framtida. Den fällbara, multifunktionella, enspantade och membranösa vingen hos pterosaurier är en utmärkt modell för ett vingkoncept som har betydande formbar kapacitet. Sådana vingar skiljas effektivt. De minsta pterosaurierna var storleken på sångfåglar, medan de största vuxna hade vingspann över 10 m.

Kombinationen av flera spant stödjande både ett membran och fjädrar ger en modell för att kombinera relativt styva vingsektioner med mycket kompatibla sådana, alla integrerade så att vingen fortfarande var vikbar. Sådana vingar kan fungera i ett fast läge men kan också ändra form och prestanda för att svara på varierande förhållanden, lindra belastningar från vindbyar, eller vika in i en markbunden stödposition.

På samma sätt ger form, position och konstruktion, som används av pterosaurier exempel på framgångsrika kontrolltytor, som till sin natur är dynamiska och kan producera hög lyftkoefficient, egenskaper av betydelse för

konstruktioner avsedda att bära tunga laster eller arbeta i oförutsägbara miljöer.

Uppbyggnaden av vingen med flera skikt av förstyvande fibrer i kombination med muskelfibrer (något som kan ändra formen på vingen) hos pterosaurier medger att ändra vingarna, eller till och med delar av vingarna, under flygning för att förbättra kontroll eller prestanda. Bildandet av en högpresterande struktur med hjälp av kompositer av jämförelsevis enkla underenheter är ett vanligt tema i djurmorfologi, och det gäller särskilt vingar.

Vakmodulering är ett vanligt inslag i nu levande flygande djur, och det verkar ha varit viktigt även för utdöda. Fibrer av olika slag ses på kroppar av flygande djur (både aktiva och passiva) som kan bidra till att skapa ett väl anslutet gränsskikt och minska motståndet. Vissa pterosaurer visar fibrer på vingen analogt med fjädrar hos ugglor, som minskar ljudet.

Flygstabilitet hos djur har uppnåtts annorlunda, i vissa avseenden, mot de flesta fastvingade flygplan. Det är anmärkningsvärt, till exempel, att inga levande flygande djur har en vertikal stjärt som moderna traditionella flygplan. Vertikala stjärtar är nästan okända i fossila fynd även om någon hade ett par vertikala vingar på bakbenen.

Det faktum att flygande djur inte behöver vertikala stjärtar är av stort intresse för ingenjörer. Flygande djur verkar använda sig av spanwise twist i vingen, och sprider därmed spetsvirvlar något inom vingspetsen. Detta resulterar i positiv gir när man svänger i stället för negativ gir. Som ett resultat kräver djur inte vertikala stjärtar eller roderelement för flygkontroll.

Dessutom verkar pterosaurier ha varit exceptionellt effektiva på att kontrollera gir ofta med knappt något stjärtsystem alls. Så mycket så, i själva verket att många arter hade råd med enormt expanderade huvuden och eller massiva huvudkammar.

Typiskt hade dinosaurier lång, benig svans och svansens massa jämfört med fåglar kan ha gett motviktsfunktioner. Detta kan ge en användbar modell för UAV-system som också är byggda för att stiga eller följa väggar.

På samma sätt använder fladdermöss placeringen av sitt svansmembran för att kontrollera anfallsvinkeln. Stjärten hos levande fåglar är också en dynamisk struktur med kapacitet att påverka dynamisk kontroll av gir och roll även om den inte är nödvändig för flygkontroll hos fåglar.

Vertikala stjärtar hos flygplan är aerodynamiskt kostsamma eftersom de resulterar i negativa lyft och betydande ytterligare motstånd. Utnyttjande av teknik som är mer besläktad med flygande djurs kan ge möjligheter att utforma alternativa stjärtar, som ger prestandavinster. Nyligen gjorda NASA - experiment har ernått upp till 24% effektivitetsvinster genom att använda biometrisk vingar baserat på denna princip.

Pterosaurier kan också ge insikt i att förhindra instabilitet i luftfarten, inklusive att motstå vingfladder med en ny vingmembranstruktur. Pterosauriernas enda vingspant gjorde aeroelastisk kontroll särskilt kritisk för deras flygprestanda. Detaljerna i actinofibril orientering, vävnad, skiktning, vingform och spannviss bengeometri i vingen var alla inblandade i att utnyttja och kontrollera aeroelasticiteten i vingarna.

Eftersom pterosaurierna var de största flygande djuren hade de en biologiskt framgångsrik morfologi som ger användbara insikter i tekniska frågor. Bedömningar av fossila formers flygprestanda innebär unika problem då funna exemplar ofta är ofullständiga eller inte bevarade i tre dimensioner. Men att ta sig an utmaningen att skapa robusta modeller för prestanda hos fossila arter ger unika insikter och tänjer gränserna för flygforskning på i grunden produktiva sätt. Dessutom ger den stora mångfalden av former hos fossil spännande och unika möjligheter att utöka vår förståelse av biologi och mekanik. Det är möjligt att utvinna betydande information från utdöda djur och integration och syntes av områdena paleontologi, biomekanik och flygteknik har en enorm potential att generera ny och kritisk kunskap till förståelsen av vardera området.

## Varför saknar fåglarna stjärtfena?

**Fåglar som den vandrande albatrossen på bilden kan lära oss effektivare flygning. Flygplan använder en elliptisk fördelning av aerodynamiska krafter längs vingen enligt en rekommendation av Ludwig Prandtl från 1921. Det kräver att flygplanet har en stjärtfena för att inte gira i sidled vid roll. Nu visar det sig att fåglar använder en klockformad lastfördelning också studerad av Prandtl från 1933. Då behövs ingen stjärtfena och bränsleförbrukningen kan minska med 11 %.**

Den spannvisa lastfördelning är fördelningen av de resulterande aerodynamiska krafterna på en vinge. Ludwig Prandtl pekade 1921 på den elliptiska fördelningen som den mest effektiva och det har blivit standard inom luftfarten. Den har emellertid ett problem med negativt gir. Negativt gir är tendensen hos flygplan att gira i motsatt riktning vid en roll. Det är för att kompensera denna negativa gir som flygplan behöver en vertikal stjärt.

Men fåglar har ingen vertikal stjärt. Den vandrande albatrossen på bilden kan ändå flyga med sådan precision att den kan snudda vattnet med sina vingspetsar. Varför fåglar inte har någon vertikal stjärt har länge varit ett mysterium.

Fåglars sätt att flyga i formation saknar också en tillfredsställande förklaring. Flygplan uppnår den bästa effektiviteten i formationflygning genom att ha vingspetsarna direkt bakom varann, medan fåglar flyger i formation med sina vingspetsar överlappande.

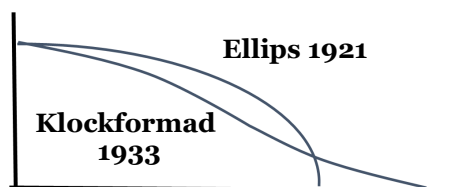
Mindre uppenbart men lika förbryllande är formen på fåglarnas vingar jämfört med flygplansvingar. En fågelvinge avsmalnar till nästan ingenting i närheten av spetsen, där de yttersta fjädrarna bär praktiskt taget ingen belastning alls, jämfört med ett flygplans vinge, som bär last ända ut till vingspetsen.

Prov visar nu att fåglarna använder en klockformad lastfördelning, se figur, också den publicerad av Prandtl men 1933 i en föga känd uppsats. Den ger en maximal effektivitet för en viss strukturell vikt när vingspannet inte behöver begränsas. Den är platt i mitten, och sedan smalnar den till och blir helt platt när den kommer till vingspetsen.

Prov har nu visat att detta kan ge dragkraft snarare än motstånd vid vingspet-



sarna. Fåglarna kan använda detta för att kompensera för sidogiren vid roll och de behöver därför ingen vertikal stjärt. Vi vet att det är en biologisk nödvändighet att fåglar inte bär någon överskottsstruktur i sina vingar eller bröstmuskler, utan bara så mycket muskler, senor och ben som behövs. Fåglar förkroppsligar minsta strukturvikt samtidigt med maximal aerodynamisk effektivitet. Den klockformade belastningen är den enda förklaringen till hur fåglar uppnår denna multivariabla optimering.



Fåglarnas fjädrar är mjuka och flexibla vid vingspetsarna. Dessa vingspetsfjädrar är oförmögna att stödja någon väsentlig belastning. Dessutom är vingsstrukturerna hos fåglar långa och smala. Ligament, senor, stödjande muskler, och ben är långa och tunna, vilket förbättrar aerodynamiska prestanda, medan den lastbärande för-

mågan hos dessa strukturer är mycket blygsam (detsamma gällde för flygödlor, pterosaurer). Däremot är flygplans vingspetsstrukturer stora och tunga och förväntas bära verkliga laster under flygning.

Den revolutionerande tanken i detta är att det tillåter flygplandesigners att helt eliminera stjärten på flygplan så att man får en flygande vinge. Alla de problem som traditionellt har förknippats med flygande vingar, och anledningen till att vi sätter stjärter på flygplan, verkar lösas genom detta. Det skulle också leda till en betydande minskning av flygplanens vikt. Ingenjörer som arbetar med projektet säger att bränsleeffektiviteten kan förbättras med upp till 11%.

Men som alltid finns det ett problem. Vingspannet kommer att vara mycket större med en klockformad lastfördelning. Om man har en begränsning av vingspannet, är den gamla lösningen den rätta. Mycket stora flygplan, som knappt kan tas emot på nuvarande flygplatser, måste fortfarande göras på samma sätt som nu.



## Varför har fåglarna stjärt?

En fågels stjärt har många roller, både när det gäller att visa upp sig och som aerodynamiskt aktiv yta. Aerodynamiskt bidrar fågelstjärtar till manövrerbarhet, stabilitet, lyftproduktion och motståndreducering genom en mängd olika mekanismer. Dessa funktioner har ofta motsatta krav. Det är svårt att förbättra både manövrerbarhet och statisk stabilitet och lyftproduktionen sker ofta på bekostnad av ökat motstånd.

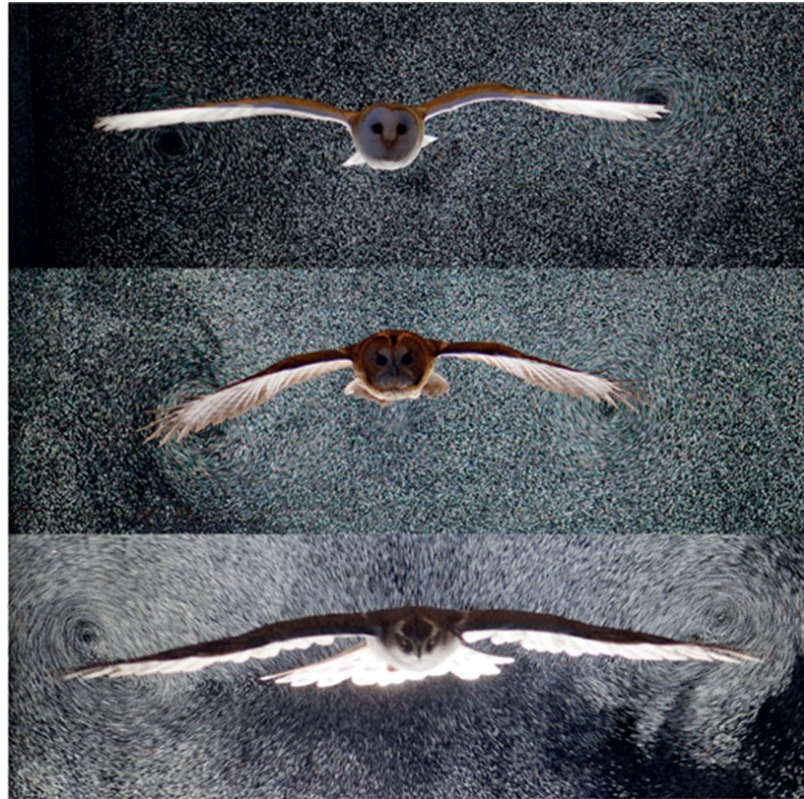
[Journal of Experimental Biology](#)

Konventionella flygplans stjärtar fungerar som roder, lyfttytor och stabilisatorer, vilket ger moment omkring masscentrum för att initiera och bibehålla svängar och återställa moment som korrigerar störningar av trimmad, jämn flygning. Fågelstjärtar har en helt annan form, som saknar den vertikala fenan hos typiska flygplan. Dessutom är stjärten inte ett krav för kompetent, manövrerbar flygning för flaxande djur. Fåglar utan stjärtar kan fortfarande uppnå en viss – om än otymplig – kontrollnivå, och många fladdermöss är svanslösa.

Flygande djur skiljer sig markant från traditionella flygplan med fasta vingar på ett antal sätt. De flaxar, de har snabb avkänning och komplex kontrollkapacitet, och de är, åtminstone i vissa glidfall, aerodynamiskt instabila. De är också mindre och långsammare, så potentiellt fungerar de under helt olika aerodynamiska förhållanden. Hur ska man då förstå fågelstjärtens aerodynamiska roll?

För att utforska aerodynamiken för glidflygning hos fåglar mätte man flödesfältet genom partikelspårning av neutralt flytande 0,3 mm heliumbubblor. Rörelsen hos bubblorna avslöjade vakvirvlar vid vingpetsarna, tydligt synliga på fotografier och filmer. Släpande virvlar bakom vingpetsarna i samband med nedströmning efter fåglarna - och resulterande lyftkraft - är inte förvånande och matchar helt förväntningarna från aerodynamisk teori och erfarenhet från flygteknik. Vad som är mer anmärkningsvärt är att diskreta efterföljande virvlar också konsekvent observerades i kölvattnet bakom kroppen och stjärten och dessa virvlar gav liksom vingarna en acceleration av luften uppåt och därmed lyftkraft.

De släpande virvlarna efter stjärten, och den tillhörande nedströmningen nära fågelns mittlinje, visade att kropps- och stjärtsektionen gav till och med större aerodynamiskt lyft per spännvidd än vingarna. Detta positiva lyft är motsatt det som krävs för stjärtar som ger stabilitet genom uppåtvinklade stjärtfenor som på flygplan. Stjärtarna på konventionella, passivt stabila flygplan ger negativa lyft och accelererar luft i motsatt riktning –



uppåt – vilket skulle vara förknippat med efterföljande virvlar av motsatt riktning mot de som observerades för fåglar.

Man kan därför avvisa stjärtens verkan - åtminstone under de uppmätta förhållandena – som en passiv longitudinell stabilisator. Istället sprider stjärten lasten över en större yta och minskar därmed profil-motståndet under långsam flygning. Förutom dess roll i momentgenerering vid manövrering, fungerar den som en aerodynamisk vingklaff och utökar det aerodynamiska planformsområdet. Medan flygplans stjärtfenor krävs för att undvika stall och ökar motståndet, producerar fågelstjärtar aerodynamisk lyft även när de inte är nära en stallgräns och agerar för att minska det totala motståndet vid låga Reynolds tal.

Varför har då fågelstjärten fått denna funktion? Man kan tänka sig att högt viktstöd från stjärten minskar det böjmoment som krävs vid vingrötterna - motsvarande vridmoment runt axlarna - vil-

ket minskar åtminstone en viss grad av muskelverkan och tillhörande fysiologiska kostnader. Det ska dock påpekas att undersökningen gällde vid glidflygning. Hur det fungerar vid andra flygfall kräver ytterligare studier.



## Om kungsfiskarens näbb

Forskare har alltmer vänt sig till biologin för att utveckla nya, mindre intuitiva tekniska lösningar. Tanken är att miljontals år av evolution, genom försök och fel med naturligt urval, har utvecklat extraordinära verktyg som utnyttjar naturlagar på unika och komplexa sätt. Ett exempel är kungsfiskarens näbb, som var inspirationen till en ny typ av noskon för höghastighetståg.

Källa: Av JJ Harrison / CC BY 3.0 [Biomimicry Spurs New Technologies](#)



En kungsfiskare är en medelstor, färgglad fågel som fångar sitt byte genom att dyka ner i vattnet och sedan komma upp med sin fångst. Detta är ingen liten teknisk prestation med tanke på den kontrasterande vätskedynamiken hos luft och vatten. Kungsfiskaren har därför utvecklat en specialiserad näbb, som gör det möjligt för den att dyka ner i vattnet med mycket lite stänk och bibehålla mycket av sin lufthastighet i vattnet.

Det visar sig att kungsfiskarens näbb har användbara aerodynamiska egenskaper för höghastighetståg. När hastigheterna ökar så ökar också bullret väsentligt. Hälften av hela Sanyo Shinkansen Line (från Osaka till Hakata i Japan) består av tunnlar. När ett tåg rusar in i en smal tunnel med hög hastighet, genererar detta atmosfäriska tryckvågor som gradvis växer. Dessa når tunnelutgången med ljudets hastighet, vilket genererar lågfrekventa vågor, som gav en aerodynamisk vibration så intensiv att invånarna 400 meter bort klagade. Stötarna var extremt höga och i vissa fall skadliga för tunneln.

Ingenjörer tittade då på kungsfiskarens aerodynamik för att få hjälp. För att fånga sitt byte dyker en kungsfiskare från luften, som har låg motståndskraft, till vatten med högt motstånd. Om en kungsfiskare hade en rundad näbb skulle den trycka vatten framför sig och skrämma bytet. Istället går den kilformade näbben och huvudet in i vattnet utan ett stänk, vilket ökar förutsättningarna för en lyckad jakt. Teorin var att det ökade trycket som upplevs när ett tåg

plötsligt tränger in i en tunnel är analogt med en kungsfiskares dykning i vattnet.

Man utförde prov för att mäta tryckvågorna som uppstod genom att skjuta kulor av olika former i ett rör och en grundlig serie simuleringstester för att köra tågen i tunnlar. Dataanalys visade att den ideala formen för Shinkansen är nästan identisk med en kungsfiskares näbb. Byte av den trubbiga nosen på tåget mot en formad som en kungsfiskares näbb reducerade kraftigt tunnelstöteffekten. Nosen i den nya 500-serien av Shinkansen har en strömlinjeform som är 15 meter lång och nästan rund i tvärsnitt.

Den här formen har gjort det möjligt för den nya 500-serien att minska lufttrycket med 30% och elanvändningen med 15%, trots att hastigheterna har ökat med 10% jämfört med den tidigare serien. En annan fördel är att dessa tåg ger en bekvämare resa för passagerarna. Detta beror på att förändringar i trycket när tågen kommer in i tunnlar är mindre.

Kunde man ha utvecklat en egen lösning av aerodynamiken som behövdes för att lösa tunnelboomproblemet? Möjligen, men det är ingen tvekan om att man genom att vända sig till naturen sparade betydande tid och pengar. Naturen har löst problem som detta, uttryckligen för överlevnad av arter, i miljontals år. Det är bara naturligt, efter så mycket försök och fel, att eleganta lösningar finns tillgängliga som kan hjälpa oss att övervinna tekniska hinder när vi sätter gränserna för vår befintliga teknik.



## “Geckoödlor” och “blomteknik” håller rent

*ESA har valt ut ett antal nya ideer för prov i tyngdlöshet. Geckoödlor ska hålla satelliter rena. Men blommor och fjärilar vet redan hur man gör.*



Geckoödlor på arm. (Fotograf: Johan Eklöf)

[Mail Online \(UK\)](#) Forskare vid Kanadas Simon Fraser University har byggt en 240-grams geckorobot. Dess trampdynor är täckta med torra mikrofibrer som efterliknar håren på geckoödlans fötter. Det gör att den kan rusa upp i fönster och längs väggar utan problem. En geckoödlas fötter är klabbiga nog för att bära en fyra kilos vikt uppför en vägg utan att halka. Ödlan klarar detta genom miljontals ultrafina hårstrån, som interagerar med klättringsytan för att skapa en molekylär attraktion som kallas van der Waals-kraft. Forskarna utvecklade sedan detta till en sexbent klättrande robot med sulor av microfiber med smeknamnet Abigaille.

Det torra “limmet” som hjälper Abigaille att klättra uppför väggar provas nu på ESAs European Space and Technology Centre (ESTEC) och på paraboliska flygningar. ESA har skapat en liten prototype, som skulle kunna vara föregångare till automater som kryper längs skrov på rymdfarkoster för att rengöra och underhålla dem. NASA arbetar också med att skapa gecko-inspirerade lim. Detta är ett exempel på biometik, att imitera tekniska lösningar från den naturliga världen.

Ett annat sådant exempel beskrivs 7 mars i Economist [Out of the groove](#) Lasrar som producerar pulser som varar bara femtosekunder-dvs miljondels miljarddels sekund- kan fungera som blixtlampor, som belyser de snabbaste processerna inom biologi och fysik. Nu har femtosekund pulser visat sig användbara för en mer vardaglig uppgift: att göra ytor vattenavvisande. Vanligen täcks ytor med polymerer för att uppnå sådana effekter. Men även de bästa av dessa kan inte jämföras med naturens superstjärnor, såsom fjärilar, bladen av lotusväxten eller trädgårdens vanliga krasse.

Forskare som undersöker sådana naturliga ytor har hittat att de uppvisar mönster och strukturer på mer än en skala, så kallad hierarkisk strukturering. Fjärilsvingar, till exempel, består av kakel-liknande strukturer omkring en miljondels meter långa. På varje sådan platta ligger en serie spår, som mäter bara nanometer, eller miljarddels meter.

Till skillnad från industrilasrar, släpper femtosekundslasrar sin energi i pulser och lämnar ingen tid för ett material att värmas upp avsevärt. På ytan uppstår höjder och dalar på nanometernivå där lasern har avlägsnat olika mängder mate-



rial. Genom att skanna en laserstråle upprepade gånger över ytor av metall kan forskarna skära monster av spår cirka 100 miljondelar av en meter breda (bredden på ett mänskligt hårstrå). Inom vart och ett av spåren ligger en struktur på nanometerskala. Detta visar sig enligt en artikel i Journal of Applied Physics, resultera i en häpnadsväckande nivå av vattenavstötning på platina, mässing och titan. Det är inte bara så att vattnet som släpps på ytorna inte fastnar; det faktiskt studsar. Damm och smuts fastnar bättre till dessa bortstötta vattenpärlor än på ytan. Utsatta för väder och vind, håller sig sådana ytor rena, torra och fria från rost eller is (vatten stannar inte kvar tillräckligt länge för att göra rost eller is).

Forskarna medger att man har en ofullständig förståelse för varför det fungerar så bra. Ett stort antal fysiska mekanismer kan vara inblandade och dessa måste avslöjas. Man tror att metoden kommer att fungera på alla metaller och med vissa



justeringar på material som plast, halvledare och keramer. Så kanske en självrengörande toalett, som gnistrar efter varje spolning inte är långt i framtiden.

## Räka ger starkare flygplanskomposit



*Mantisräkan. PHOTO CREDIT: CARLOS PUMA*

Inspirerad av en liten räka, mantisräkan, har en forskargrupp, som leds av University of California, Riverside utvecklat ett kompositmaterial, som är slag-tåligare och starkare än de som nu används i flygplan. Mantisräkan är ca tio cm lång och har en knytnävs-liknande klubba, som accelererar under vattnet snabbare än en gevärskula. Forskarna är intresserade av klubban eftersom den kan slå bytesdjur tusentals gånger utan att gå sönder. Den kraft som skapas av mantisräkans klubba är mer än tusen gånger dess egen vikt. Den är så kraftfull att man måste hålla räkan i ett speciellt akvarium för att den inte ska slå sönder glaset.

Klubban har visat sig bestå av mineraliserade fiberskikt, som fungerar som stötdämpare. Varje skikt roteras med en liten vinkel från skiktet nedanför tills man når 180 graders rotation. Forskarna har byggt kolfiber-epoxi kompositerna med denna struktur och jämfört den med ett kvasi-isotrop (den standard som används inom flygindustrin), som har alternerande lager staplade på varandra i en orientering 0 grader (första lagret), -45 grader (andra lagret), 45 grader (tredje lagret), 90 grader (fjärde lagret) och så vidare.

Målet var att undersöka slagtlighet och energiupptagning.

Vid slagprov visade sig skadorna på alla de spiralformade proverna gjorda enligt räkans metod vara 20 till 50 procent lägre än på de kvasi-isotropa mänskliga. Ultraljudsprov visade att i de spiralformade proverna spreds skadan i sidled i strukturen, snarare än som en katastrofal spricka rakt igenom. Forskarna tryckte sedan proverna tills de gick sönder. Deras resultat visade att de spiralformade proven visade en signifikant ökning, cirka 15 procent till 20 procent, i resterande styrka jämfört med de kvasi-isotropa proven.

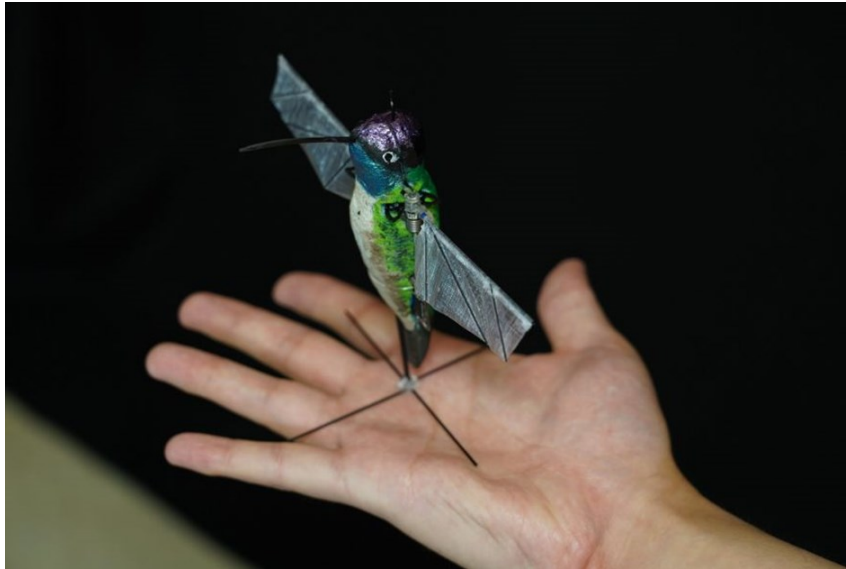
**Vill du veta mera?**

**Markera och öppna hyperlänken:**

[UCR Today: Mantis Shrimp Stronger than Airplanes](#)

## Kolibrien är en robot

I årtal har forskare som strävar efter att bredda flygförmåga försökt avkoda en av naturens bäst bevarade hemligheter: hur kolibrier flyger. Det är en hybrid av hur fåglar och insekter flyger. En sådan färdighet kan ha tillämpningar som sträcker sig från att hitta offer som fångats i kollapsade byggnader till drönbaserat spionage. Forskare från Purdue University har nu byggt en flygrobot med förmåga att efterlikna och lära sig en kolibris beteende. IEEE: [one of nature's best-kept secrets](#):



Purdue Universitys forskare har konstruerat flygrobotar som beter sig som kolibrier, utbildade av maskininlärningsalgoritmer baserade på olika tekniker som fågeln använder naturligt varje dag. Detta innebär att roboten "vet", efter att ha lärt sig från en simulering, hur man rör sig som en kolibri.

Ursprungligen var problemet att göra en liten robot som kunde generera tillräckligt med lyftkraft för att lyfta sig själv. Drönare kan inte göras oändligt små på grund av det sätt som konventionell aerodynamik fungerar. Då kan de inte generera tillräckligt med kraft för att lyfta sin egen vikt.

Kolibrier använder inte konventionell aerodynamik - och deras vingar är fjädrande. Fysiken är helt enkelt annorlunda. Aerodynamiken är i sig ostadig, med höga angreppsvinklar och hög lyftkraft. Det gör det möjligt för mindre flygande djur att existera, och även att skala ner flaxande robotar. För att producera kolibri-drönare observerade forskarna hur kolibrier flög och de olika manövrar, som de använde vid flygning. De översatte sedan detta till en datoralgoritm och byggde en robot med maskininlärning för att kunna lära sig att flyga som en kolibri.

Konstgjord intelligens, i kombination med flexibla vingar, gör det också möjligt för roboten att "lära sig nya knep". När de utvecklade sina robotar studerade forskarna kolibrier flera somrar i Montana. Viktiga manövrar som att göra snabba 180 graders varv dokumenterades och översattes till datoralgoritmer, som kunde läras i en simuleringsmiljö. Vidare studier av fysiken hos både insekter och kolibrier gjorde det möjligt att bygga ännu mindre robotar utan att kompromissa med flygkvaliteten.

Forskarna har byggt en kolibrirobot som väger 12 gram - viken av den genomsnittliga vuxna Magnificent Hummingbird - och en annan robot med insektstorlek som väger ett gram. Kolibriroboten kan lyfta mer än sin egen vikt, upp till

27 gram. Robotarna har 3-D-tryckta kroppar, vingar av kolibri och laserskurna membran.

Roboten kräver endast två motorer och kan styra varje vinge oberoende av varandra, vilket är hur flygande djur utför sina manövrar i naturen. En faktisk kolibri har flera grupper av muskler för att lyfta och styra, men en robot ska vara så lätt som möjligt. Robotarna är stadiga i turbulens, något som forskarna demonstrerade genom att testa de dynamiskt skalade vingarna i en oljetank. Robotkolibrin flyger nu på egen hand kopplad till en energikälla, men det förväntas att ett batteri så småningom kommer att läggas till, tillsammans med sensorteknologi som en kamera eller GPS.

Konstgjord intelligens, i kombination med flexibla vingar, gör det också möjligt för roboten att lära sig nya knep. Även om roboten inte kan se ännu, kan den känna sig fram genom att röra vid ytor. Varje beröring genererade en elektrisk ström, som forskarna kunde spåra. Roboten kan skapa en karta utan att se omgivningen. Det kan vara till hjälp i en situation då roboten kanske söker efter offer på ett mörkt ställe. Framgången med denna forskning gör det lättare att skapa drönare med förmåga att nå olika platser. Ytterligare forskning om insekter och andra mindre flygande organismer kan bidra till att förändra sättet att utföra sök- och räddningsuppdrag. Robotarna kan också flyga tyst precis som en riktig kolibri gör, vilket gör dem idealiska för hemliga operationer.

Robotkolibrier skulle inte bara kunna hjälpa till med sök-och-räddningsuppdrag, men låter även biologer på ett mer tillförlitligt sätt studera kolibrier i sin naturliga miljö genom sinena hos en realistisk robot. Man lärde sig från biologin att bygga roboten, och nu kan biologiska upptäckter ske med extra hjälp från robotar. Det öppnar fler möjligheter för forskare att flytta gränserna för vad teknik kan göra.



## Ugglefjädrar ger tystare vindkraftverk

Ingenjörer från universitetet Virginia Tech i USA säger att ett turbinblad inspirerat av ugglefjädrar kan erbjuda ett sätt att minska buller från motorer eller vindkraftverk.



William Devenport, professor i flyg- och havsteknik, har fokuserat på ett fenomen som kallas "bakkantsbuller." När ett blad på ett vindkraftverk skär genom luften åstadkommer den skarpa kanten på baksidan av bladet luftvirvlar och ljudvågor. Det resulterande bullret nämns ofta som ett hinder för mer omfattande installation av vindkraftverk eftersom det kan vara en olägenhet för närboende. Att hitta ett sätt att minska bullret kan öka användningen av vindkraft och tillgången på hållbar energi.

Devenport insåg att en några, som verkar ha löst problemet med bakkantsbuller är ugglor. Till skillnad från många andra fåglar kan ugglor flyga mycket tyst för att överraska sina byten. Faktum är att när forskare i tidigare studier har mätt bullret från andra typer av fåglar, som duvor och hökar, med känsliga mikrofoner så har deras vingar genererat betydande bakkantsbuller. Men när en uggle flyger förbi mikrofonerna så hörs nästan ingenting.

Devenport och hans medarbetare upptäckte att små hårstrån, som täcker ugglan fjädrar kan minska bullret. För att efterlikna denna effekt på ett vindturbinblad, utformade de en uppsättning revben, eller "småfenor" som skulle sitta framför bladets bakkant och tillverkade dem med 3-D tryckteknik.

Totalt har 22 olika konfigurationer provats i en vindtunnel, som har en ny utformning för att mäta akustiken. Dess väggar är gjorda av skräddarsydda Kevlar-paneler. Ljud kan gå igenom men inte luft. Bakom ett tätt sträckt tyg sitter 117 mikrofoner, som spelar in det ljud som alstras när luft rusar över bladet upp till 250 km per timme.

Dessa småfenor minskade faktiskt bakkantsbullret avsevärt. Man tror att detta beror på att småfenorna hugger upp turbulensen närmast bakkanten i mindre virvlar som inte kan generera ett högt ljud. Man har nu sökt internationellt patent på konstruktionen och är också involverade i licensieringsdiskussioner. Den nuvarande utformningen är optimerad för vindturbinblad men den bör också fungera för mindre blad, som fläktar i datorer och bilar.

<http://theroanokestar.com/2015/06/26/tech-engineers-inspired-by-owl-feathers-improve-wind-turbines/#sthash.1DubicoM.dpuf>



## Trollsländor kan ge bättre vindkraft

Trollsländor är urgamla djur som funnits på jorden länge. Trots det vet man inte allt om dem. Med hjälp av ny teknik avslöjas en del av hemligheten bakom insektens speciella flygförmåga. Forskning om dessa flygfän kan ge bättre vindkraft, Se [Enhanced flight performance by genetic manipulation of wing shape in Drosophila](#).



Per Henningsson, Biologiska Institutionen vid Lunds Universitet, forskar på aerodynamik och flygprestanda hos flygande djur. Hans nuvarande projekt finansieras av ett fyraårigt anslag från Svenska Vetenskapsrådet (VR) och fokus ligger på aerodynamiken bakom manövreringsflykt hos djur. Projektet startade i början av 2014 och kommer att innefatta en serie vindtunnelbaserade experiment på utvalda arter från var och en av de tre grupperna av flygande djur - insekter, fåglar och fladdermöss.

Han använder modern flödesvisualiseringsteknik (Particle Image Velocimetry) för att fånga och analysera luftvirvlar som bildas i vaket bakom djuren när de flyger i vindtunnel och utför olika typer av manövrer. Detta är till stor del ett outforskat område. Samtidigt representerar det något som är ständigt närvarande för alla djur som tar till vingarna eftersom det är inblandat i varje aspekt av flygning – t.ex. att fånga byten, undvika rovdjur, flyga genom komplicerade miljöer med olika typer av hinder, hantera byiga vindar och så vidare.

När forskare har studerat vingarna på trollsländor har de sett att de har en komplicerad struktur, som bland annat innebär att de är veckade ungefär som korrugerad plåt. Den här strukturen påverkar djurens sätt att flyga. Också vingformen påverkar. Trollsländor har en bred bas på vingen medan de närbesläktade flygsländornas vingar har en smal vingbas som sedan breddas utåt.

Det påverkar i sin tur hur de lever. Eller så har sättet de lever på utvecklat vingarna. Trollsländor har ett mer effektivt flygsätt, mer energisnålt. De flyger kontinuerligt och patrullerar i luften när de jagar. Flygsländorna däremot kan inte flyga lika energibesparande. De sitter i stället och väntar på sitt byte. De är däremot mer effektiva i manövrer och kan svänga snabbare i luften.

De nya rönen kan komma till nytta i andra sammanhang. Flygplansutvecklare har visat intresse när det gäller mindre obemannade flygfarkoster. Där finns det ett intresse för effektivt flygande eftersom man har svårt att få batterier att räcka. Ett annat mänskligt område är vindkraft. Vindkraftverk kan bli mer effektiva när det gäller vad olika vingformer kan göra.

Insektsvingars former är anmärkningsvärt skiftande och kombinationen av form och kinematik bestämmer både flygkapacitet och effektbehov. Emellertid är bidraget från någon specifik egenskap på prestanda inte känt. Trollsländans vingform förefaller inte att vara optimerad för vissa flygprestandaegenskaper som är kända för att vara viktiga. Förändring av vingformen utöver den naturliga variationen inom populationen, visar på en direkt effekt på flygprestanda. Förändring av en enda gen kan avsevärt förbättra flygförmågan.

## Hur jaga som hökar och fladdermöss?

### Det amerikanska flygvapnet sponsrar zoologer vid Oxford

**Economist:** [Animal behaviour and missile design](#)

Falkjakt är mindre fashionabelt nu än det var i forna dagar, men under de senaste åren har skarpögda vandrare i södra Wales kunnat bevittna en uppdaterad version av detta gamla tidsfördriv. Sedan 2012, i ett projekt som sponsras av Förenta staterna flygvapen, har Oxford University flugit pilgrimsfalkar (se bild) och hökar över Svarta bergen i Monmouthshire att studera hur dessa fåglar jagar sitt byte.

Amerikanska flygvapnet hoppas fåglarna kan lära dem ett trick eller två om avlyssning av mål, både i luften och på marken. Man sätter miniatyrkameror och satellit trackers på selar, som bärs av fåglarna. Sedan lät man dem bland annat attackera en död fasan på marken, jaga en död fågelunge som släpades längs marken och genom en serie av tunnlar av en vinsch och kabel, och fånga en död fågelunge, som släpptes på hög höjd från ett radiostyrt modellflygplan. Bilder av banan när fågeln fångade sitt bytte spelades in i en dator.



Den första upptäckten var att i stället för att jaga på det sätt som tidigare forskning hade visat, nämligen att hålla bytet vid en konstant vinkel när de flög in för att fånga det, så följde fåglarna en regel som kallas proportionell navigering, som för närvarande används av många missilsystem. Till skillnad från konstant vinkelspårning kräver det ständig omräkning av hastighet och bäring, och anses vara ett svårt trick. Vad som verkligen fascinerade forskarnas finansörer var dock vad en pilgrimsfalk gjorde om en levande fasan eller and dök upp under ett test. Sedan fågeln omedelbart tappat intresset för sitt gamla byte, jagade den det nya med hjälp av en spårningsteknik, som kallas optimal vägledning. Den används bara av de mest avancerade typerna av missiler. Optimal vägledning använder optimal reglerteori, en gren av matematik som även används för lagerstyrning av tillverkningsprocesser. Det har lett till att flygvapnets experter hoppas att rovfåglarna kan ha andra tekniker att visa upp, kanske även sådana som ingenjörer på mänskliga missiler ännu inte har tänkt på.

### I Lund studerar man fladdermöss

**Animal Flight Lab Lund University**  
[Sensorisk motorintegration i fladdermus](#)

En fladdermus upptäcker, lokaliserar, spårar och fångar byten på så lite som 0,5 sekunder från detektering. Denna snabba växelverkan mellan fladdermusen och dess byte utmanar inte bara de akustiska bearbningsalgoritmerna utan också hur snabbt behandlingen leder till beslut. Under perceptionen bombas hjärnan med information, som måste filtreras för att minska mängden information hjärnan måste sortera igenom och snabba upp svaret. Fladdermöss gör förmodligen denna typ av filtrering genom att emittera en smal ljudstråle under sökandet efter byte. Behovet av snabbhet driver emellertid inte bara det sensoriska systemet och informationsbehandlingen till dess gränser, utan också manövrerbarheten och smidigheten i flygningen.



Eftersom fladdermöss använder ekolod för navigering erbjuder de en unik chans att studera hur de gör. Fladdermusen visar sig avge en signal som beror på dess förväntningar. Om den möter ett öppet utrymme avger den en signal med lång varaktighet och hög intensitet för att nå långt, men om den möter ett litet utrymme minskar den varaktigheten och intensiteten för att minska informationsbelastningen och störningen. Således har vi ett unikt system för att studera den aktiva dynamiska kopplingen mellan uppfattning och handling och hur fladdermöss uppfattar omgivningen och vi kan samtidigt övervaka hur de anpassar sitt flyg- och akustiska beteende.

## Robotförsvar och trollsländor

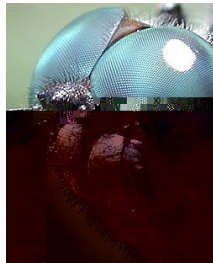
**Trollsländor har små hjärnor och nästan ingen djupuppfattning, men lyckas ändå fånga cirka 95% av sitt byte i luften. Hittills har man trott att huvudsakligen däggdjur, såsom människan, är kapabla att förut-säga var rörliga föremål kommer att befinna sig inom en snar framtid. Nu har forskare från bland annat Lunds universitet och vid det amerikanska energidepartementet lyckats visa att trollsländor kan förut-säga vart bytesdjur som rör sig är på väg. Denna kunskap kan leda till innovationer inom områden som robotvision och autonoma fordon samt gynna utvecklingen av vägledningssystem för missilförsvar.**

**eLife:** [Swedish-Australian collaboration](#)

**IEEE:** [Read more](#)

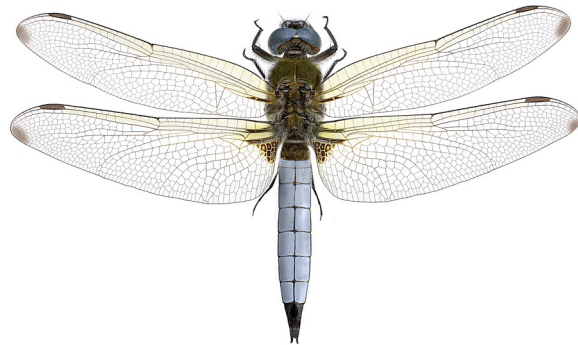
Trollsländor är bland de äldsta av nu levande insekter. Fossil visar att gruppen uppträdde under karbontiden för cirka 300 miljoner år sedan. Trollsländan med det största vingspannet i världen är den centralamerikanska *Megalogrepus caerulatus*, vars spann kan nå hela 19 cm. I förhistorisk tid var trollsländorna de största flygande insekterna någonsin, med vingspann på uppemot åtminstone 75 cm.

Trollsländor är skickliga flygare som vanligen håller till i närheten av vatten och lever av insekter som ofta fångas i luften. Huvudet är rundat och fasettögonen är så stora att de möts, eller nästan möts, på huvudets ovansida.



Trollsländor har två par stora vingar som kan röras oberoende i förhållande till varandra. Musklerna som sänker vingen är direkt kopplade till vingen och musklerna som höjer vingen fäster i rygglådan och verkar på vingarna genom denna. Det gör att vingparen kan röras både i mottakt och i takt med varandra. Vingarna slår ungefär trettio slag per sekund. Trollsländor kan stå stilla i luften, flyga snabbt framåt och plötsligt dyka nedåt eller ändra riktning tvärt. Manöverskickligheten är viktig för trollsländornas framgång vid bytesjakt. Trollsländor är inte de snabbaste flygande insekterna men de snabbaste flyger ändå 10-15 m/sek.

Forskare från universiteten i Adelaide i Australien och Lund i Sverige har visat hur en sländas hjärna förväntar sig rorets rörelse, vilket gör att den kan jaga framgångsrikt. Det svensk-australiska samarbetet resulterade i upptäckten av hjärnceller (neuroner) i sländan *Hemicordulia* som gör det möjligt för dem att fånga sitt flygande rov. Dessa neuroner gör att de kan fokusera på ett litet objekt som rör sig över en komplex bakgrund. Det liknar hur människor kan spåra och fånga en boll i luften. Trollsländans neuroner kan göra ett urval av ett enda mål från massan av visuell information som hjärnan får, till exempel rörelsen hos en annan insekt, och sedan förutsäga dess riktning och framtida läge. Dessa nervceller ökade sina svar i ett litet "fokusområde" precis framför läget för ett rörligt objekt som spårades. Om objektet sedan försvann från synfältet spriddes fokuset framåt över tiden, vilket gav hjärnan möjlighet att förutsäga var målet troligen skulle dyka upp igen. Den neuronala förutsägelsen baseras på den tidigare banan längs vilken bytet flydde.



Vid Sandia National Laboratory i New Mexico USA har man undersökt hur sländornas hjärnor kan hjälpa forskare att utveckla bättre missilförsvar. Dessa system har samma uppgift att fånga upp ett objekt under flygning. Man försöker förutsäga hur sländornas neuroner kopplas i hjärnan och förstå vilken typ av beräkningar dessa neuroner gör. Man vill på det sättet utveckla neurala nätverk som kräver mindre energi och är bättre lämpade för att lära sig och anpassa sig än datorer.

En sländas reaktionstid på ett manövrerande byte är ungefär 50 millisekunder. Som referens tar en mänsklig blinkning cirka 300 millisekunder. Femtio millisekunder ger bara tillräckligt med tid för information att korsa cirka tre nervceller. Med andra ord, för att hålla jämna steg med en slända måste ett konstgjort neuralt nätverk ha slutfört behandlingsinformationen efter tre steg. Forskarna utvecklade datoralgoritmer utformade för att härma hur en slända bearbetar visuell information under jakt.

Missilförsvarssystem förlitar sig på etablerade avlyssningstekniker som är beräkningstunga. De metoder som trollsländor använder kan potentiellt krympa storlek, vikt och effektbehov hos omborddatorer. Om detta görs skulle missilerna kunna vara mindre och lättare och därför mer manövrerbara. Forskningen kan också avslöja nya sätt att avlyssna manövrering av mål som hypersoniska vapen, som följer mindre förutsägbara banor än ballistiska missiler.

Sländor och missiler rör sig i olika hastigheter, så det är okänt hur väl denna forskning kan tillämpas på missilförsvar. Men att utveckla en beräkningsmodell av en sländas hjärna kan också ha långsiktiga fördelar för maskininlärning och konstgjord intelligens.



## Örnar jagar drönare

**Ett nederländskt företag utbildar örnar för att fånga drönare i flykten. I den här bilden, släppt av nederländska polisen tisdag 2 februari 2016, sätter en utbildad örn klorna i en flygande drönare.**

[New York Times](#)



Örnen flyter graciöst fram under en molnig himmel och sveper sedan ner på sitt byte med utsträckta klor. Målet är emellertid inte en annan fågel utan en liten drönare och när örnen slår den hörs ett metalliskt clunk. Med drönaren i sina klor återvänder rovfågeln till marken.

Vid ett nedlagd militärt flygfält i Nederländerna utbildas örnen att utnyttja sina instinkter för att bekämpa säkerhets-hot som härrör från spridningen av drönare. Polisen arbetar med ett Haag-baserat företag "Guard from Above", som utbildar örnar och andra fåglar att fånga drönare. Man vill undersöka om fåglarna kan användas vid stora evenemang eller i närheten av flygplatser, där de små flygande maskinerna är förbjudna.

Företaget anser att örnar är en lågteknologisk lösning på ett toppmodernt problem. En drönare kan ju åstadkomma omfattande förödelse på en offentlig tillställning, ett flygfält eller någon annanstans.

Under många år har regeringen letat efter sätt att motverka oönskad användning av drönare", säger Guard from Aboves grundare och VD, Sjoerd Hoogendoorn, i ett uttalande. "Ibland kan en lågteknologisk lösning på ett högteknologiskt problem vara mer uppenbar än det verkar. Detta är fallet med våra specialutbildade rovfåglar. Genom att

använda dessa fåglars djuriska drifter, kan vi erbjuda en effektiv lösning på ett nytt hot."

Fåglarna är utbildade att tänka att drönarna är deras byte och får en belöning om de fångar en. De lär sig att fånga små, obemannade drönare av den typ, som kan medföra risker för flygplan, släppa smuggelgods i fängelser, utföra övervakning eller flyga farligt lågt över offentliga tillställningar. Fåglarna kan ta ner drönaren säkert till marken snarare än att få den att krascha, vilket kan medföra risker för folk nedan.

Tanken att terrorister kan använda drönare spökar för säkerhetstjänster i Europa och på andra håll. Holländska polisen kommer sannolikt att ett beslut senare i år om att använda fåglarna. Metropolitan Police Service i London överväger också att använda utbildade fåglar för att bekämpa drönare.

Djurrättsaktivister är dock inte så tända på idén. Man anser att det innebär en allvarlig skaderisk för fåglarna, vars vingar och klor kan trassla i sig drönarens rotor. Den nederländska polisen har bett en organisationen för tillämpad vetenskaplig forskning att studera eventuella effekter på örnarnas klor, men resultaten är ännu inte kända.



## Drönare lär av insekter

### Drones: The buzz of something new | The Economist

Små förlösa flygplan, de flesta av dem helikoptrar med fyra eller fler uppsättningar rotor, har flyttat ut från laboratoriet till praktisk användning. De används för flygfotografering och övervakning och i USA har Amazon fått tillstånd att testa en drönare för att leverera varor. Dessa drönare litar på en operatör på marken, vilket ofta är ett lagkrav. Men det är också en begränsning. Om drönare skall få autonomi måste de kunna flyga utan tillsyn. Då kommer de att behöva mycket mer intelligens.

Problemet är inte navigering. GPS och Google Earth kan tala om vilka hinder drönaren kan möta och det kan programmeras in innan den lyfter. Problemet är snarare det oväntade, det som inte finns på kartan. Drönare som ska kunna flyga själva måste ges sådana sinnen att de kan hantera sådana risker.

Ett sätt är att ta reda på hur naturliga drönare som bin och andra insekter navigerar och laboratorier runt om i världen försöker göra just det. Bin litar till exempel på optikflöde. Bekant för alla, som har tittat ut ur ett tågfenster, är att närliggande föremål verkar röra sig snabbare än avlägsna sådana. Vid universitetet i Oxford försöker man bygga in uppfattning om optikflöde i en drönare genom att koppla ett öga till en hjärna. Ögat är en videokamera som väger endast 8 gram. Den sänder en ström av bilder till hjärnan, som är en dator på marken, kopplad till kameran med Wi-Fi.

Datorn identifierar föremålskanter och mäter dem från kant till kant. På så sätt kan man räkna ut hur snabbt drönaren närmar sig något och om en kollision är trolig, hur den behöver flytta sig för att undvika den. Den använder sedan denna information för att ändra varvtal på rotorerna.

Det låter enkelt i princip, men kollisionsundvikande, speciellt när det som ska undvikas rör sig, kräver god manöverförmåga. Det är där flugor och fjärilar kommer in. Justerat för storlek är de bättre på manövrering än något stridsflygplan som ännu byggs. Alla insekter använder samma metod. De kombinerar vision med ett tröghets styrsystem.

Tröghetsnavigering bygger på att mäta positionen av något som på grund av sin tröghet motstår objektets rörelse. Konstgjorda system använder gyroskop. Malar använ-

der sina antenner och flugor ett par små organ som kallas "halteres", som har utvecklats från deras bakvingar och är formade som bollar på pinnar.

Flera grupper av forskare undersöker insekters tröghetsnavigering. Man har använt mikroelektroder för att följa insekternas nervimpulser och höghastighetsfotografering och datortomografi (en avancerad form av röntgen) för att följa rörelserna i deras externa organ och deras muskler.

Flugor navigerar med hjälp av indata från hundratals kanske tusentals sensorer. Dessa är delar av deras sammansatta ögon, och även de många cellerna vid basen av deras "halteres". Signalerna från dessa, visar det sig, behöver inte passera genom hjärnan. Istället fungerar de som en serie reflexer, som styr insektens hastighet, inställning och kurs direkt. Det är motsatsen till de flesta metoder för drönaravionik. Men det tyder på att sann manövrerbarhet kan skapas bättre utan att försöka imitera funktionerna hos en hjärna.

Ett sätt hur manövrerbarhet kan byggas in i en drönares flygplansskrov visas av arbetet med nattfjärilar. Dessa insekter använder ett liknande styrsystem som flugor då de svävar över blommor för att dricka nektar från dem, men med information från sina antenner istället för flugors "halteres". Vid Johns Hopkins University har man funnit

att nattfjärilar håller sina huvuden och kroppar stadiga med avseende på en blomma genom att göra små förändringar i orienteringen av sina magar. Man har byggt en drönare med ett batteri, som hänger under den. Drönaren är utrustad med servomotorer som justerar dess position på det sätt som en fjäril flyttar sin mage. Det stabiliserar drönaren i luften.



På Harvard, har man byggt drönare, som verkligen är mikro. De mäter 3cm från vingpets till vingpets. Dessutom flaxar deras vingar som hos riktiga insekter i stället för att rotera. Man har byggt in enkla ögon i drönarna, och dessa fungerar som de små ögonfläckar, som insekter använder för att ta sikte på solen eller månen så att de kan flyga med en konstant vinkel till dessa avlägsna ljuskällor och därmed hålla en rak kurs. Detta tros vara orsaken till att fjärilar flyger i cirkel runt artificiellt ljus på natten. De konstgjorda ögonen är pyramidformade och har en kamera på varje sida. De kan således, som insekternas riktiga ögonfläckar, spåra solen. Man har ännu inte översatt denna förmåga till ett ombord navigationssystem, men det bör inte vara alltför svårt att göra det, så länge drönare inte stöter på några stearinljus.

## Drönare som ser som insekter

Små insektslika drönare kan vara till nytta för övervakning i katastrofområden eller genomförande av varuleveransen till människor i otillgängliga trakter. Men tekniken är fortfarande ny och drönarna har en hög risk för att köra in i varandra i trånga utrymmen. Nu har forskare skapat ett konstgjort öga och navigationssystem som liknar insekters för att lösa detta problem.



### Ögat hos en insekt

Detta är inte det första försöket att sätta insektsinspirerade sensorer i drönare, men det är första gången det har gjorts för sådana små drönare (andra har försökt att koppla upp dem med skrymmande digitalkameror). Insekternas sätt att se fungerar bra för drönare eftersom det inte har någon hög upplösning, men är mycket känsligt för föremåls rörelse eller förändringar i hur ljuset reflekteras. Det passar perfekt för manövrering av drönare genom små utrymmen med massor av hinder.

Man har gjort ett konstgjort öga, som väger bara två milligram. Det är gjort av tre fotodetektorer med en lins på toppen. Med en kombination av data från fotodetektorerna, som är arrangerade i en triangel, kan enheten bestämma hastighet och riktning oavsett om rummet är dåligt upplyst eller det är starkt ljus utomhus. Det kan dessutom göra det tre gånger snabbare än verkliga insekter.

Forskarna planerar nu att placera flera konstgjorda ögon på en drönare för att skapa ett mer sofistikerat visuellt system, som gör det möjligt för drönaren att stabilisera sitt läge i luften. De planerar också att utveckla en remsa av konstgjorda ögon, som kan fästas på alla typer av underlag, såsom andra typer av robotar eller möbler och kläder.

Man har tidigare utvecklat programvara, som gör att maskiner spårar rörliga föremål med samma precision som trollsländor. Även om trollsländor har ynkliga hjärnor och syn med extremt låg upplösning, har de ändå möjlighet att fånga byten med mer än 95 procents säkerhet mot ofta röriga bakgrunder som svärmar av andra insekter. De kan dessutom göra detta samtidigt som de flyger uppemot 100 km/tim.

Man har identifierat ett antal nervceller i trollsländors hjärnor, som specifikt spårar små rörliga föremål och ger dem deras otroliga förmåga att följa och avlyssna rov. I labbet plockade forskarna vingarna av trollsländor och borrarade ett litet hål i huvudet där de kunde sätta en elektrod på nervcellerna. De placerade sedan sländorna framför en bildskärm och visade dem olika stimuli medan de spelade in data från nervcellerna.

Man fann att sländans förmåga att filtrera bort brus hjälpte den att spåra mål, som rör sig längs kontinuerliga banor. Sländor har också en "aktiv blickkontroll" eftersom deras ögon är fasta och de bara kan rotera huvudet. Detta tvingar dem att hålla sitt mål inom fem grader från den centrala



synriktningen men i stället för att bara försöka hålla målet perfekt centrerat i synfältet, läser de på bakgrunden och låter målet flytta sig mot den. Detta var en integrerad del av den spårningsalgoritm som forskarna skapade baserad på hur trollsländans hjärna hanterar information.

De testade hur bra deras algoritm var på att spåra rörelse genom att låta den analysera rörliga mål i en virtuell simulering av omvärlden. De tog bilder av naturscener och använde en dator för att sy ihop dem till ett cylinderformat panorama som ett slags virtuellt trollsländeöga. Sedan lät de sin algoritm spåra objekt, som rörde sig i en tredimensionell rymd, på samma sätt som en trollsländas hjärna. Resultaten var uppmuntrande: deras algoritm var tjugo gånger snabbare än andra liknande program på att lokalisera ett mål i en rörig miljö.

Ref: [Popular Science](#)

## Pollinering med drönare

Drönare är tänkta att lata sig i kupan medan deras systrar samlar nektar och pollinerar blommor. Men bin har blivit allt mer sällsynta. Nu ska de ersättas av drönare gjorda av människor. [Robot bees: Plans for artificial pollinators are afoot | The Economist](#).

Drönaren i fråga är en skapelse av Eijiro Miyako på National Institute of Advanced Industrial Science and Technology i Tsukuba, Japan. Det är det första försöket av en ingenjör att ta itu med vad många uppfattar som en överhängande jordbrukskris. Pollinerande insekter i allmänhet, och bin i synnerhet minskar i antal. Anledningarna till det är oklara, men man fruktar att vissa grödor kommer att bli knappare och dyrare som följd. Försök att öka antalet naturliga pollinerare har hittills misslyckats. Kanske, tänkte Dr Miyako, är det dags att bygga några konstgjorda istället.



*”Robotbiet kan plocka upp pollen med penslar av hästhår, som gjorts klibbiga med hjälp av en sorts gel”.*

### Styrs av mänsklig operatör

Hans pollinator-drönare ser inte, det måste sägas, ut som ett bi. Det är en modifierad version av en kommersiellt tillgänglig quadcopter, 42mm tvärs över och 15 gram tung. (Som jämförelse är en av honungsbinas arbetare omkring 15 mm lång). Men drönaren kan faktiskt pollinera blommor. Specifikt och avgörande är att Dr Miyako har utrustat den med penslar av hästhår som bestrukits med en sorts gel, som är klabbig nog att plocka upp pollen, men inte så klabbig att det pollen, som borstas upp, blandas mot något annat.

När drönaren flyger in i en blomma plockar den med hjälp av de klabbiga hästhåren med sig pollen och tar det sedan vidare till nästa blomma. Forskarna har redan framgångsrikt lyckas pollinera japanska liljor med hjälp av drönarna.

Tidigare försök att bygga konstgjorda pollinatörer har misslyckats med att hantera detta. Dr Miyako har däremot lyckats. Experiment där drönaren flyger till liljor och tulpaner visar att de gelinsmorda håren kommer i kontakt med både pollenbärande ståndarknappar och pollenmottagande pistiller hos dessa blommor. Det visar sig att drönaren verkligen kan bära pollen från blomma till blomma på det sätt en insekt gör, fast man har ännu inte bekräftat att fröna resultaterat i befruktning.



Just nu måste Dr Miyakos drönare styras till sina mål av en mänsklig operatör. Nästa steg blir att utrusta dem med vision som låter dem känna igen blommorna själva. Lyckligtvis är visuell programvara tillräckligt utvecklad för att detta inte bör vara alltför svårt. I framtiden, när du går genom en fruktträdgård i blom, lyssna alltså efter surrande drönare istället för surrande bin.



## Bihjärnor kan revolutionera drönare

En ambitiös plan för att använda hjärnans funktioner hos honungsbin och myror inom drönare är under utveckling vid University of Sussex, University of Sheffield och Queen Mary University of London. Forskarna använder virtuell verklighet, maskininläring och radarverktyg för att studera bin i hopp om att över-sätta resultaten till ny drönarteknik.. [Autonomous bee brain-inspired UAV could revolutionise drone tech ...](#)



Det fyraåriga projektet som kallas Brains on Board har skapat små datachips (grafikkort) som man hoppas kommer att kunna användas på obemannade flygande bilar och drönare. Tanken bakom projektet är att lära av speciellt honungsbin och insekter i allmänhet om effektiva strategier för att genomföra autonoma beteenden. Att skapa en sådan datoriserad och energieffektiv autonom robot skulle utgöra en stegförändring i robotteknik.

I flera år har man försökt att omvandla bihjärnans förmågor till beräkningsmodeller som kan användas för att styra autonoma flygrobotar. Att flyga robotar, särskilt små, utgör ett intressant ingenjörspåbud. Förarlösa bilar är i jämförelse med detta en relativt enkel utmaning. Den höga bärkraften hos en bil möjliggör flera redundanta och sofistikerade sensorer och mycket beräkningskraft för att bearbeta all data. Förarlösa bilar arbetar också i en relativt begränsad miljö, för närvarande jordens yta. Däremot är flygande robotar extremt begränsade av nuvarande batteriprestanda och har därmed liten nyttolast för sensorer och beräkningar. De måste också navigera i potentiellt komplexa tredimensionella utrymmen.

Honungsbin, liksom andra insekter, är ett mirakel av miniaturisering och precisionsteknik. Men i motsats till många andra insekter är bin också särskilt intelligenta. De bor i stora kolonier och måste därför interagera socialt och navigera många kilometer till och från matplatser med hjälp av landmärken. Bin har en anmärkningsvärd intelligens när det gäller navigering och även mönstreigenkänning.

Trots sitt rykte som mycket effektiva lagspelare, visar bin också stor individualitet. Ett enskilt bi kan flyga ut och lära sig sin miljö, hitta en fläck av blommor och komma hem igen och sedan kommunicera denna information till andra individer. Allt detta uppnås med en hjärna av endast en miljon neuroner som upptar ungefär en kubikmillimeter.

Att integrera bins neurala förmåga i en drönare skulle kunna erbjuda stora förbättringar. Insekternas hjärnor har ett utmärkt autonomt system, särskilt eftersom de kan packa så mycket information i sin lilla storlek. Autonom och adaptiv kontroll av en flygrobot, med hjälp av en inbyggd beräkningssimulering av bins neurala kretsar, skulle vara en oöverträffad prestation inom robotteknik.

Projektet syftar till att använda beräknings- och experimentell neurovetenskap för att utveckla en banbrytande ny klass av högeffektiva robotstyrare. Dessa bör uppvisa adaptivt beteende medan de körs men ha låg vikt. GPU-maskinvara (General Purpose Graphics Processing Unit)



som nu dyker upp på marknaden för mobila enheter gör detta möjligt.

Det som gör projektet unikt är att man har samlat experter inom maskininläring och beräkningsvetenskap tillsammans med robotister och biologer. Man har en arena för virtuell verklighet, där man kan registrera vad som händer i neuronerna i mycket liten skala. I större skala har man radarexperiment, beteende och neurala inspelningar.

En framgång har varit att utveckla en modell av honungsbiets optiska kretsar som reproducerar beteendet för hastighetsreglering och hinderförebyggande, allt baserat på uppskattning av optiskt flöde över robotens kamera. Tillvägagångssättet är mycket robust mot variationer i miljön. Ofta "utbildas" ett neuralt nätverk i olika miljöer, genom att använda så kallad djupinläring, men forskarnas modell är snarare att utgå från en beskrivning av hur honungsbins neuroner är kopplade ihop i deras hjärnor. Man utnyttjar de miljöer som har utvecklats i hjärnkretsarna hos honungsbin och andra flygande insekter och kör neurala simuleringar för att ge "bihjärnor ombord" äkta autonomi.

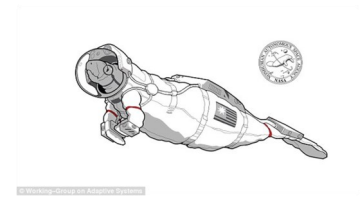
Forskarnas nästa steg är att titta på hur man kan använda beteenden som man ger en robot för att möjliggöra för den att strukturera informationen som kommer in, så att världen blir lättare att lära sig och lättare att navigera i.

I forskningen utnyttjar man den senaste utvecklingen inom mobil datorteknik baserad på 3D-datorgrafik och hårdvaruacceleratorer. Vikten och energikraven för dessa har nu nått en punkt där man kan montera dem ombord på små quadcopters. Både batterilivslängd och miniaturisering är dock stora utmaningar för framtiden. Utmaningen att bygga robotar som verkligen fångar förmågan hos honungsbin, inklusive livslängd, storlek och beteendemässig flexibilitet, kommer att vara en framtida uppgift.

Forskarna kommer snart att testa sina nyutvecklade algoritmer i en robotdrönare, som de hoppas kunna flyga autonomt inom ett år.



## Djur i rymden



Det är allmänt trott att människor kommer att vara de som erövrar rymden, men kanske djuren är bättre lämpade för dess utmaningar? Det är den fråga som ställs av [Nonhuman Autonomous Space Agency](#).



Skapad av den Maryland-baserade arbetsgruppen för adaptiva system, föreställer den sig en framtid där sjökor och kycklingar kommer att ha skapat sina egna ekosystem inuti rymdskepp. Även om detta projekt har en lättsam syn på djurrymdresor, så har djur varit nyckeln till att utforska nya gränser.

Under de senaste decennierna har rymdutforskning varit förbehållet mänskligheten, men så har det inte alltid varit skriver gruppen på sin hemsida. Sex nationella rymdprogram har hittills flugit djur i rymden: Sovjetunionen, USA, Frankrike, Kina, Japan och Iran. De användes som surrogat för att testa lämpligheten av miljön för människor.

Bananflugor var de första djuren att sändas ut i omloppsbana när de sattes ombord på en USA-lanserad V-2 raket den 20 februari, 1947. Två år senare blev Albert II, en Rhesusapa, den första apan att nå ut i rymden. I November 1957 skickade Ryssland hunden Laika i omloppsbana ombord på sitt sovjetiska Sputnik 2 rymdskepp. Sedan, den 31 januari 1961 blev Ham den första schimpans en i rymden som en del av Nasas rymdprogram.

De första jordiska varelserna i rymden var alltså djur och djur erbjuder nya möjligheter att utforska rymden med dess risker och belöningar. Skulle till exempel inte ett djur, som redan är anpassat för livet i en tyngdlös miljö som vatten, vara bättre lämpat för fritt fall än en människa?

"Nonhuman Autonomous Space Agency" föreslår ett nätverk av robot och biologiska system för att utforska solsystemet. Gruppen har också en utopisk syn på framtiden eftersom den föreställer sig en framtid, där människor från Jorden värderar vår miljö så mycket att vi försöker åter skapa den i rymden inkluderande även djur.

Gruppen har försökt skapa en sådan imaginär värld kallad "Lazy River" modellerad på södra Florida. Den är skapad med användning av 3D-skrivare, med en flod i mitten, och fönster som mottar solljus. Den roterar för att ge en konstgjord gravitation motsvarande den som finns på ytan av Mars, ungefär en tredjedel av jordens gravitation. Denna mängd av gravitation gör att kycklingar kan hoppa, och sjökor krypa upp ur vattnet. Speciella glasögon hindrar sjökornas ögon från att torka ut. Djuren kan inte förväntas att ta hand om sig själva så de kommer att bistås av robotar, programmerade för deras vård. Genom att skapa en sådan värld hoppas man att påminna folk om att framtiden inte bara hör till människan.

The "Nonhuman Autonomous Space Agency" är ett forskningsprojekt inom "Working-Group on Adaptive Systems", ett konsultföretag i Baltimore som är centrerat kring konst och design. Grundat av Fred Scharmen 2008 har gruppen arbetat med många olika projekt som rör stadsmiljöer i en mängd olika branscher, med hjälp av unika metoder för varje projekt, se [Working-Group on Adaptive Systems](#).

## Fello'fly

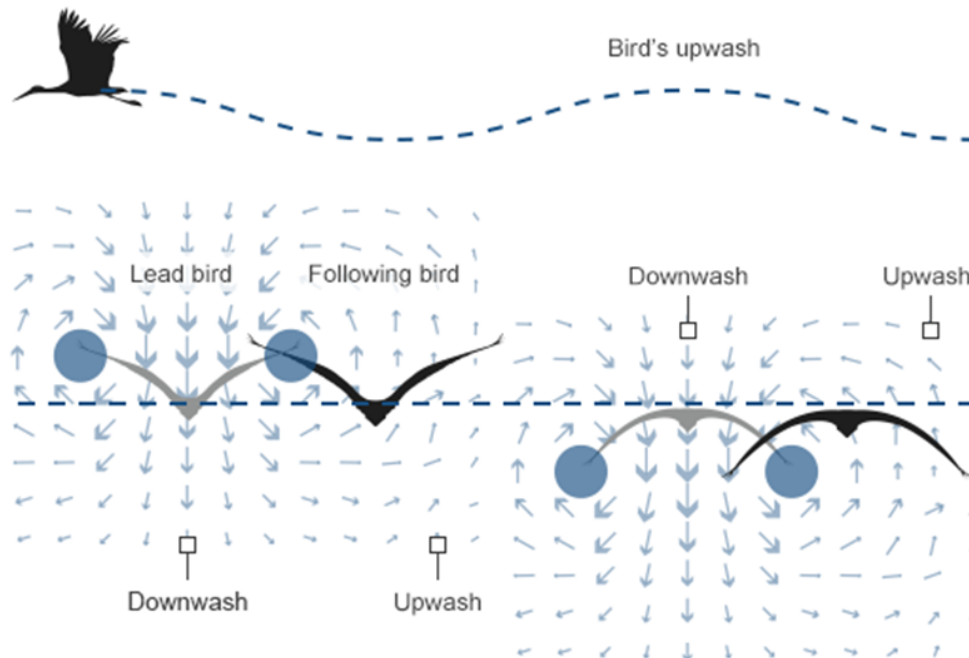
Airbus "fello'fly" projekt sätter flygning i formation på prov som ett sätt att minska koldioxidutsläppen. Men att flyga två stora passagerarflygplan nära varandra innebär nya operativa utmaningar. Airbus har därför tecknat avtal med två flygbolag och tre flygtrafiktjänstleverantörer för att tackla dessa.

[How a fello'fly flight will actually work - Innovation - Airbus](#)

[Why Birds Fly in a V Formation | Science | AAAS](#)

[Fly like a bird: The V formation finally explained - BBC News](#)

### How birds take advantage of the V formation



Source: Nature

Vandrande gäss har dragit nytta av vaken efter en ledarfågel sedan urminnes tider. Fylking, även kallad plogformation eller v-formation, är en flock med flyttfåglar, exempelvis änder, gäss och svanar, som flyger med en fågel längst fram med de andra fåglarna bakom i två led vinklade ut från ledarfågeln. En vanlig missuppfattning är att en sådan plog med exempelvis gäss har en ledargås, som ligger längst fram hela tiden, men så är det inte, istället byter fåglarna ofta plats med varandra inom formationen.

Orsaken till denna v-formation är att den ur ett aerodynamiskt perspektiv är den mest optimala. När en fågel flaxar bildas en roterande luftvirvel från var och en av dess vingspetsar. Dessa virvlar innebär att luften omedelbart bakom fågeln ständigt trycks nedåt medan luften längre bakom den och utåt sidorna trycks uppåt. Om en annan fågel flyger i någon av dessa bakre zoner får den gratis lyft och kan spara energi.

Undersökningar genomförda på pelikaner visar att hjärtfrekvensen hos fåglar, som flyger i plogformation, är mycket reducerad och andra undersökningar har visat att en flock på 25 fåglar i plogformation kan flyga 70 % längre på samma mängd energi som en ensam fågel.

Forskare vid Royal Veterinary College, Storbritannien utvecklade små instrument, som är tillräckligt lätta för att kunna bäras av en flygande fågel och känsliga nog för att

registrera dess position, hastighet och kurs flera gånger per sekund. De samarbetade med en österrikisk organisation som försöker återinföra den nordliga skalliga ibisen, som utrotades i Centraleuropa på 1600-talet. De uppfostade ungfåglar att flyga längs artens gamla flyttvägar genom att leda vägen med ett mikrofågplan. Flocken stannade på fasta platser längs vägen och ett supportteam följde dem på marken och observerade hur de flög.

Inspelningarna avslöjade att fåglarna flög exakt som de teoretiska simuleringarna förutspådde i V-formation cirka en meter bakom fågeln framför och ytterligare en meter åt sidan. Vissa ibiser föredrog att flyga till höger, andra till vänster, vissa föredrog mitten och andra kanterna, men på det hela taget bytte fåglarna ofta plats och flocken hade ingen ständig ledare.

Men att flyga i ett V handlar inte bara om att ligga på rätt ställe. Det handlar också om att flaxa vid rätt tidpunkt. När en fågel flaxar med vingarna rör sig luften som lämnas av vingspetsarna uppåt och neråt bakom den. Fåglarna bakom kan på något sätt känna detta och justera sina vingslag för att hålla sina egna vingar inom zonen med lyftande luft. Den bakomliggande fågelns vänstra vingspets rör sig nästan exakt i fas med den framförvarandes högra.

## Fello'fly



Ibiserna kan också ändra sitt beteende mycket snabbt. När de byter plats i flocken befinner de sig ibland direkt bakom fågeln framför och fastnar i dess nedström. Om det händer ändrar de sitt flaxande så att de gör motsatsen till vad fågeln framför gör. De flyger nu nästan perfekt ur fas.

Hur klarar de det? Ingen vet. Det enklaste svaret är att de bara tittar på fågeln framför och slår sina vingar däreför. De använder kanske sina vingfjädrar för att känna luftflödet runt dem. Eller så kan de bara förlita sig på enkel positiv feedback. De flyger runt tills de träffar på en plats som känns bra.

Oavsett svaret är det tydligt att detta inte är en färdighet ibiserna är födda med. När de först följde planet var de överallt i luften. Det tog tid för dem att lära sig att flyga i ett V. Man har alltid antagit att V-formen lärdes ut av de vuxna fåglarna, men de här fåglarna var alla i samma ålder och de lärde sig att flyga från varandra. De var till synes mycket medvetna om var de andra fåglarna var i flocken och satte sig i bästa möjliga läge.

Forskarna försökte inte beräkna fågelns energibesparing eftersom de nödvändiga fysiologiska mätningarna skulle varit för invasiva för en hotad art. Tidigare studier uppskattar emellertid att fåglar kan använda 20 till 30% mindre energi när de flyger i V.

Resultaten gäller sannolikt andra långvingade fåglar, såsom pelikaner, storkar och gäss. Mindre fåglar skapar mer komplexa virvlar, som det skulle vara för svårt att studera.

I framtida studier kommer forskarna emellertid att byta till vanligare fåglar, som duvor. De planerar att undersöka hur de bestämmer vem som sätter kursen och takten, och om ett misstag som görs av ledaren kan forplantas genom resten av flocken utan att orsaka trafikstockningar.

Hur kan man då överföra detta till flygplan? Det är känt att militära flygplan kan spara bränsle genom att flyga i en V-formation. De två virvlarna som skapas av de fasta vingarna på flygplan är dock kraftfulla, uppåtrörmmande horisontella luftpelare och mycket mer stabila än de oscillerande virvlarna, som kommer från en flaxande fågel.

Airbus testade potentialen för civil luftfart 2016, då man flög ett A380 som ledare och en A350 som efterföljare och höll dem 3 km ifrån varandra. Proven visade mellan 5 och 10% minskad bränsleförbrukning, vilket övertalade Airbus att starta "Fello'fly"-projektet.

Tekniskt innebär det att se till att piloterna har ett fungerande gränssnitt, som gör att de säkert kan sätta flygplanet i optimal bränslebesparande position. En annan viktig del av projektet är att studera inverkan på säkerheten av att hålla flygplanen närmare varandra än de är för närvarande. Airbus avser att låta flygplanen flyga på ett avstånd av cirka tre kilometer, istället för det för närvarande erforderliga avståndet 55 till 90 kilometer. Flygledning kommer att leda dem fram till samma punkt på två olika höjder åtskilda av 1000 fot. Enligt reglerna för dagens luftrum och förfaranden är detta det närmaste flygplan kan flyga tillsammans. Härifrån kommer de att samar-

beta för att manövrera in i en position där de sparar bränsle genom hämtning av vakenergi.

Man har nått en överenskommelse med Frenchbee och SAS Scandinavian Airlines flygbolag samt med tre leverantörer av flygtrafiktjänster (franska DSNA, brittiska NATS och Eurocontrol) om att delta i Fello'fly-projektet. Samarbetet fokuserar för närvarande på praktiska utmaningar, som att anpassa regleringen och para ihop olika flygplansmodeller.

Frenchbee och SAS kommer att tillhandahålla flygbolagens expertis inom flygplanering och drift för de samarbetsbehov som krävs för att binda flygplan före och under en fello'fly-operation. DSNA, NATS och Eurocontrol kommer att bidra med sin erfarenhet av flygtrafik genom att definiera hur två flygplan kan anslutas säkert, vilket minimerar påverkan på nuvarande förfaranden. Parallellt kommer Airbus att fortsätta arbeta med den tekniska lösningen för att hjälpa piloter att se till att flygplanen förblir i en säker position.

Enligt avtalen kommer Airbus, Frenchbee, SAS, DSNA, NATS och Eurocontrol att utveckla ett säkert och realistiskt koncept för operationer (CONOPS) som är nödvändigt för att utforma framtida operativa regler för fello-fly.

Airbus siktar på att genomföra en demonstration över Atlanten 2021. För att nå detta mål provar man för närvarande pilotassistansteknik för att garantera säkerheten. Beroende på resultatet av proven hoppas Airbus på att fello'fly-metoden ska tas i bruk år 2025.



## Ugglefjädrar kan ge tysta flygplan

**Kännetecknande för ugglor är den tandade framkanten på vingen. En nyligen genomförd forskningsstudie visar att dessa strukturer vrider flödesriktningen för att undvika turbulens, vilket möjliggör tyst flygning och kan visa vägen framåt för att minska flygbuller i framtiden.**

[Bioinspiration and Biomimetics.](#)

Detta arbete beskriver en ny mekanism för laminär flödeskontroll av en bakåtsvept vinge med en kamliknande framkantordning. Den är inspirerad av den främsta kammerna på ugglefjädrar och den speciella designen av dess hullingar, som liknar en kaskad av komplexa 3D-böjda tunna små hullingar.

Denna "kamliknande" struktur är mer utvecklad hos nattaktiva än dygnsaktiva arter, vilket tyder på att den tandade kammerna måste ha fördelar för jakt på natten. Det föreslogs faktiskt tidigt att tandningarna är en av de anpassningar som finns hos ugglor som ligger till grund för tyst flygning. Akustiska mätningar av ugglor har visat att även om effekten var marginell för låga anfallsvinklar, så är den relevant för glidfaser som fortsätter fram till den slutliga direkta attacken på bytet.

Forskarna använde detaljerna på hullingarnas geometri från en ugglefjäder för att utforma en generisk modell av kammerna för experimentella och numeriska flödesstudier med kammerna fäst vid framkanten av en plan platta. Undersökningen utfördes i olika svepvinklar, eftersom ugglor har ett tydligt bakåtsvep av vingen under glidning och flaxning.

Resultaten visar en flödesvridande effekt i gränsskiktet, som sträcker sig nedströms längs kordan över ett avstånd av multiplar av hullingarnas längd. Detta motverkar det utåtriktade flödet, som vanligtvis uppvisas av bakåtsvepta vingar. Från nyligen utförda teoretiska studier på en svept vinge dämpar ett sådant sätt att vrida flödet i gränsskiktet instabiliteter i flödet och fördröjer övergången till turbulens. En jämförelse av de inducerade hastighetsprofilerna med de som i teorin visat sig fördröja övergången från laminär till turbulent strömning visar utmärkt överensstämmelse, vilket stöder hypotesen om att de ger laminärt flöde.

Som framgår av beräkningar och experiment, åstadkommer modellen en vridning av flödet som motverkar korsflödet. Storleken på denna effekt är proportionell mot vinkeln på hullingarnas tvärsnitt. Om vingens svepvinkeln ökas blir flödesvridningen mer uttalad, vilket tyder på att ugglans



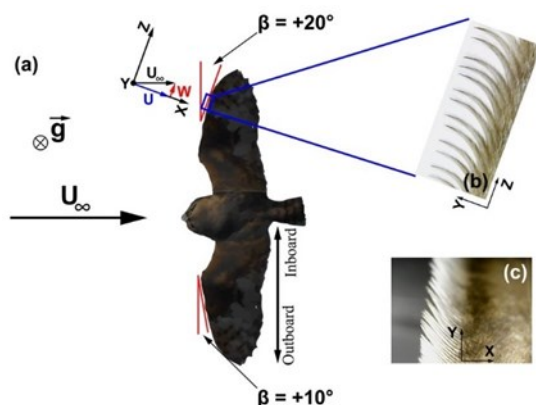
ledande kam är skräddarsydd för att dämpa korsflödet. I slutändan innebär detta en laminär flödeskontroll och den observerade effekten kan förväntas fördröja övergången till turbulens hos ugglor, vilket bidrar till deras tystare flygning. En fördröjning av övergången innebär en minskning av bullret eftersom den del av vingen, där flödet är turbulent minskas eller till och med helt tas bort.

Efter att ha överförs till en digital modell, indikerade flödessimuleringarna runt dessa strukturer (med hjälp av beräkningsvätskedynamik) tydligt att den aerodynamiska funktionen hos dessa förlängningar var att vända flödesriktningen på ett sammanhängande sätt.

Med hjälp av flödesstudier i en vattentunnel visades också flödesvridningen i experiment med en förstorad hullingsmodell. Istället för att producera virvlar fungerade de som tunna ledskenor på grund av deras speciella 3D krökning. Den regelbundna fördelningen av sådana hullingar över vingspannet vänder därför flödesriktningen nära väggen på ett smidigt och sammanhängande sätt.

Påverkan på luftflödet som visats här kan vara kritisk för en jaktuggla, som måste förbli tyst tills precis före den slår till. Om vingammarna kan bidra till att hålla flödet laminärt och förhindra instabilitet för typiska flygförhållanden med bakåtsvepta vingar, kan det därför ge en stor fördel vid jakten.

Resultatet av denna forskning kan visa sig vara viktig för framtida laminär vingdesign och har potential att minska flygbuller.

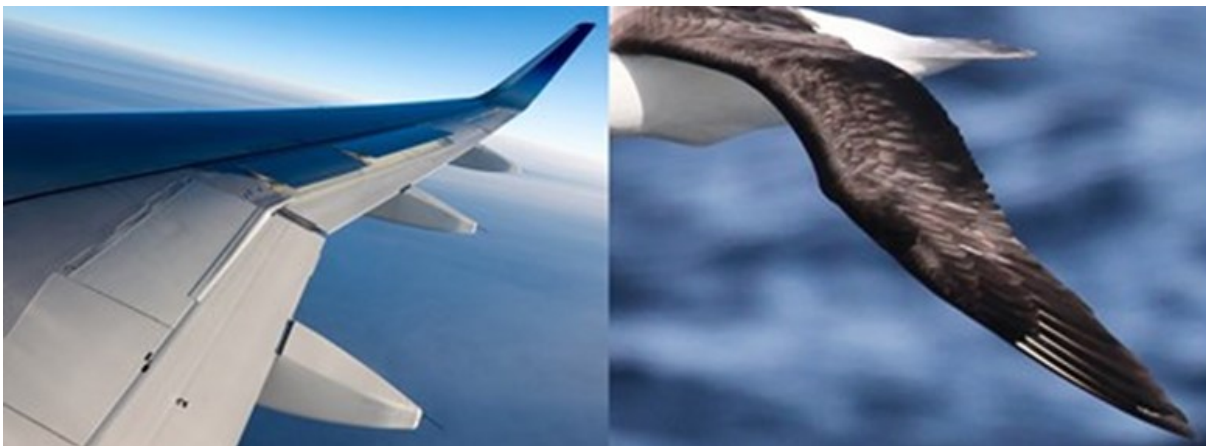




## Att flyga optimalt. Flygtekniker lär sig av naturen

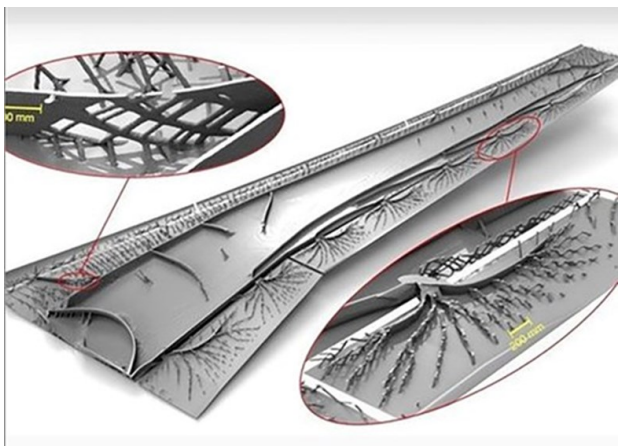
Flygtekniker har lärt sig av naturen för att skapa nya konstruktioner, koncept och driftsätt för att optimera prestanda. Man letar i naturen efter inspiration till nya sätt att göra flygplan lättare och mer bränsleeffektiva. Inte överraskande ligger fokus på att studera fåglar.

**RAeS:** <https://www.aerosociety.com/news/engineering-nature/>



När fåglar är i luften sträcker de ut sina vingar för att minska luftmotståndet och hålla sig i luften på samma sätt som ett segelflygplan, som försöker öka lyftkraft och minska motstånd. När fåglar vill röra sig snabbare drar de in sina vingar, som rovfåglar gör i ett attackdyk för att fånga rov.

Det skulle finnas många fördelar i att flyga mer effektivt om flygplan kunde efterlikna fåglar och ändra sin vingform i olika flygfäll. Adaptiva vingar kan ge en betydande ökning i prestanda inklusive bränslebesparing, längre räckvidd och minskat buller. Olika vingformer kan också hjälpa flygplan att kompensera förändringar i vikt och viktfördelning när bränslet förbrukas under flygningen.



Förutom vingar har ingenjörer också inspirerats av andra fågelgenskaper. År 2017 utformade forskare vid Danmarks universitet en alternativ 'organisk' inre struktur för en Boeing 777-vinge, som var 5% lättare än en konventionell vingstruktur, baserat på strukturen hos en fågelvinge, se figur ovan.

År 2019 presenterade Airbus ett konceptuellt trafikflygplan 'Bird of Prey' inspirerat av örnar. Det var en hybridelektrisk, regional turbo-prop som efterliknade örnens vinge- och stjärtstruktur och hade individuellt styrda "fjädrar" som gav aktiv flygkontroll.

Airbus har också studerat vingarna hos den långörade ugglan för att se hur den kan flyga så tyst. De flesta fåglar genererar ljud när de flyger genom den turbulens, som skapas när luft strömmar över ytan på vingarna. Emellertid är den långörade ugglans främre vingfjädrar taggade som en kam, som dämpar ljudet när luften passerar igenom dem. Airbus konstruerade en infällbar, borstliknande frans för att efterlikna ugglans räfflade fjädrar på vingarna samt en sammetslen beläggning på flygplanets landningsställ.

Det har också forskats på flygplan med flaxande vingar. En upp-



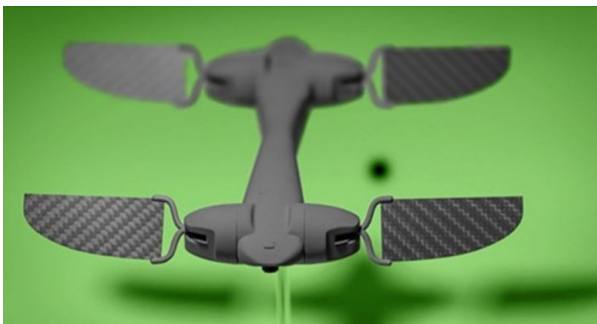
sats som publicerades i Science Robotics i juli 2020 beskrev hur studenter vid Nanyang Technological University i Singapore hade utformat en mikro-ornikopter, som flyger som en fågel och som kan användas för att övervaka grödor eller folksamlingar. Ingenjörer har också utvecklat mikroflygfarkoster (MAV) som ser ut som fåglar för att observera just fåglar. RoboSwift, utvecklad av ingenjörstudenter vid universitetet i Delft 2007, är en liten propellerdriven MAV utrustad med kameror, som är utformad för att observera växlingar i fåglarnas naturliga miljö.

Biomimikforskning är inte begränsad till hur fåglar flyger utan också till hur de ser. Lund Vision Group i Sverige har utformat en kamera som återskapar hur fåglar urskiljer färg. Det kan ha tillämpningar på flygplans navigeringssystem och förbättrade sensor- och styrsystem för obemannade flygfarkoster, UAV.



Biomimik av fåglar studerar också flygmönster. Airbus har arbetat med demonstratorprojektet Fello'fly som tittar på hur gäss flyger i en "V-form". Enligt Airbus förbrukar efterföljande gäss mindre energi genom att surfa på vakarna (dvs. den kvarvarande kinetiska energin från rörlig luft) som skapas av en framförvarande fågel. När de flyger på det sättet får gäss omedelbart nytta av gratis lyftkraft, vilket gör att de kan hålla sig uppe med minimal ansträngning över långa sträckor. Airbus-projektet försöker få ett kommersiellt flygplan att spara 5-10% av bränslet från "wake-energy retrieval" genom att utnyttja virvlarna från ett ledande flygplan.

Insekternas svärmande flygmönster har inspirerat militära UAV-forskare till att använda svärmar av miniatyrdrönare för att övervåldiga fiendens försvar. Insekter har också gett en inspiration till utvecklingen av insektsstora nano-UAV:er att användas i militära spanings- och övervakningsuppdrag. Forskare vid University of Arizona har studerat de aerodynamiska egenskaperna

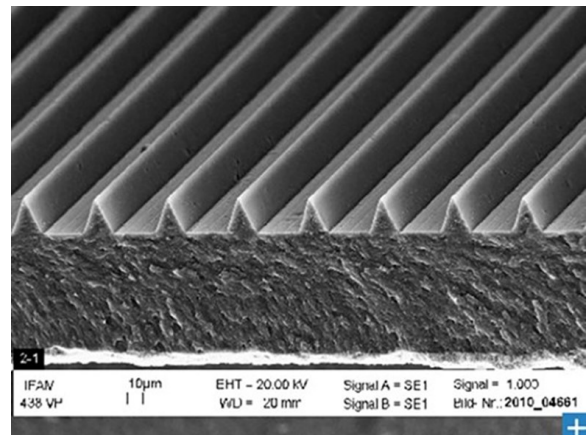


hos en humlelik-mikro-luftfarkost medan Oxford-baserade Animal Dynamics har skapat miniatyrdrönare med viftande vingar baserade på sländor, som de hävdar kan sväva i 10 sekundmeters vindar. Animal Dynamics 8-tums Skeeter-drönare, se figur ovan, inspirerades av de dubbla vingarna på en trollslända.

Inte all biomimikforskning bygger på strukturer. År 2003 rapporterades att forskare vid State University of New York och University of Missouri studerade den vibrerande kommunikation,

som används av trädhoppande-insekter, i syfte att lokalisera ljudkällor för att hitta problem på flygplan. NASA genomförde också ett projekt med Boeing för att skapa en beläggning baserad på den yttre ytan av ett lotusblad, som skulle kunna minska problemen med smuts, damm och vatten på flygplanens vindrutor.

Biomimik är inte heller begränsat till djur som flyger. Ett annat område av biomimikforskning inspirerat av marina djur har varit på "anpassningsbara ytor". Det har beräknats att cirka 40% av luftmotståndet orsakas av det turbulenta gränsskiktet - ett tunt luftskikt precis ovanför flygplanets skal, vilket skapar friktion. Havsdjur, som delfiner, kan undertrycka denna turbulens när de simmar genom vatten genom att kontinuerligt krusa huden. Forskare tror att en kontinuerligt anpassningsbar yta skulle kunna praktiskt taget eliminera hudfriktionen på flygplan. Att åstadkomma en kontinuerligt rörlig yta på en flygplans kropp har ännu inte lösts, men flygtekniker har utvecklat "riblets" - en serie små spår på ytan av ett flygplan i luftflödets riktning - som påstås uppnå en 4-7% minskning av hudfriktionen.



2010 tilldelades ett team vid Fraunhofer-institutet i Tyskland Fraunhofer-priset för en färg modellerad på hajskinn med spår, se bild ovan. Den testades 2013 på två Lufthansa A340-300 och har sedan dess marknadsförts av det tyska laserspecialistföretaget 4JET och flygplanfärgstillverkaren Mankiewicz som LEAF-systemet (Laser Enhanced Air Flow).

Forskare har också lärt sig av människokroppen. Forskare från University of Illinois har arbetat med ett USAF-finansierat projekt om autonoma materialsystem som efterliknar kroppens processer inklusive självläkande polymerer som kan göra det möjligt för kompositer i flygplanstrukturer att "läka" sig om de skadas genom att läcka ut harts i sprickorna. Arbetet utförs också på kompositmaterial som kan böjas med applicering av elektrisk lågspänning på samma sätt som musklerna utvidgas och dras samman. Sådana material har många potentiella tillämpningar, inklusive manövrering av manöverdon.

## Att tämja överljudsbuller med lite hjälp från pingviner

På land vinglar kejsarpingvinerna omkring. Ibland faller de omkull och sparkar sig på magen fram över Antarktis snö och is. Men i vattnet är de mästare. De dyker, vänder och stiger med graciös smidighet, fångar byten och undviker rovdjur. Och de har ett sätt att minska motståndet i vattnet, som har inspirerat forskare som försöker minska buller från överljudsflygplan.

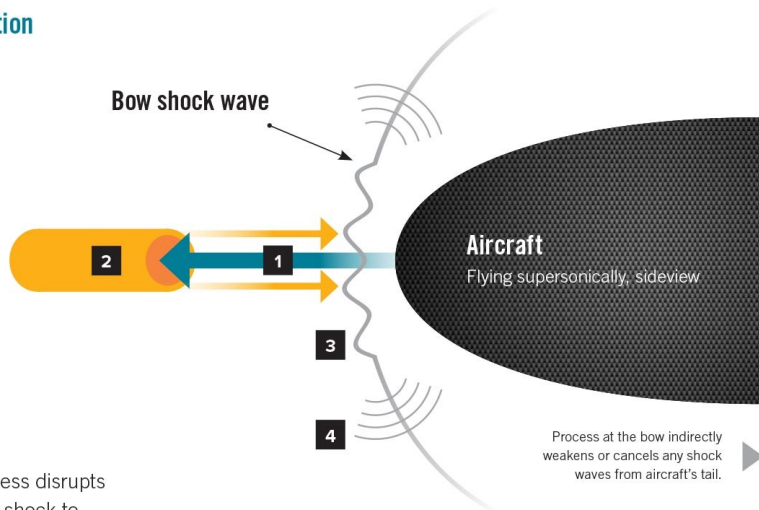
Bio-inspired - Aerospace America

## Weakening or preventing sonic booms with lasers

### Visualizing forward energy deposition

Time span: 1/100 of a millisecond

- 1 Aircraft fires a pulse of laser.
- 2 Focusing the laser beam causes the air to ionize into a plasma filament, and this generates a blast wave.
- 3 The plasma ions and the blast wave interact with the bow shock wave, weakening the bow shock.
- 4 Secondary waves from the interaction in step 3 further weaken or eliminate the bow shock wave.



**NOTE:** Rapidly repeating the above process disrupts the conditions that would cause the bow shock to reconstitute itself, thereby softening or eliminating any sonic boom that might be heard on the ground.

Bullret är det kanske största problemet med överljudsflygplan. Concorde var rent av förbjudet att flyga överljud över land. Man lägger därför ner mycket forskning på att göra planen tystare.

I stället för att forma ett flygplan för att fördröja bildandet av de supersoniska stötvågor, som hopar sig på flygplanets nos och stjärt, vill man försvaga eller eliminera de vågor som annars skulle bildas runt flygplanet och göra detta genom att avfira snabba pulser av laser framför flygplanet. Den snabba omvandlingen av luft till plasma bör skapa primära och sekundära vågor som hämmar bildandet av de bogstötvågor, som normalt orsakar ljudsignaler som når marken. Resultatet är att det lokala flödet beter sig som om det är underljud istället för överljud.

Tro det eller ej, men denna idé, kallad framåtriktad energideposition, är löst inspirerad av den strategi kejsarpingviner har utvecklat för att simma så enkelt. När de dyker ner i vattnet släpper de tusentals små luftbubblor, som fångats i deras fjädrande päls. Bubblorna kombineras med vattnet och skapar en bubblig luft-vatten-blandning som omsluter pingvinernas kropp. Det förvandlar effektivt vattnet som flyter runt pingvinerna, till ett mindre tätt medium med lägre motstånd.

I stället för att släppa ut bubblor vill man installera en laser på nosen av ett supersoniskt flygplan och avfira ljuspulser tiotals meter före flygplanets axel. Om man skjuter dem med millisekundhastigheter skulle de skapa en rad av plasma, kallad en glödtråd, vars längd beror på laserns effekt.

Konceptet är fortfarande i det undersökande stadiet. Hittills har man skapat plasma genom att avfira en laserstråle från sidan av en supersonisk vindtunnel framför en lång cylinder monterad i

tunneln. Man skapar ett plasma, som hänger i luften.

Utmaningar att övervinna inkluderar att bestämma det optimala geometriska mönstret för laserpulserna och tjemja dem för att hindra att stötvågor återbildas. Avgörande är också skalning av lasrar med låg systemmassa och vikt och rätt mängd kraft för användning på ett riktigt flygplan. Man undersöker också kompletterande energikällor för att producera och intensifiera plasma och förlänga dess effekt på stötvågor.



Avsikten är att i slutändan flyga en skalad laser. Det skulle göras på NASA:s F-15B vid Armstrong Research Center i Kalifornien. F-15 har nämligen enorma mängder elektrisk kraft som kan användas för denna typ av experiment.



## Formbara vingar-fåglar vet bäst

Morphing härstammar från ordet metamorfos. Det definieras som förmågan hos vingar att ändra sin geometriska form under flygning. Morphing-konceptet är inspirerat av fågelvingar som kan förändras beroende på omgivningen. En sådan vinge kan göra det möjligt för luftfarkoster att få bättre flygprestanda.

[Aerospace America: Bio-inspired](#)

[The Morphing Wing: Birds Know Best](#)

[Shape shifters - Royal Aeronautical Society](#)

[\(PDF\) A Review of Morphing Wing - ResearchGate](#)

[Wing Morphing Allows Gulls To Modulate Static Pitch ...](#)

Den brittiske ingenjören och uppfinnaren Frederick Lanchester tillbringade sina eftermiddagar under en resa 1892 till USA med att se fiskmåsar glida i stigande luft. Deras vingar rörde sig knappt men krökte sig i ändarna för att hjälpa dem att hålla sig uppe. Ytterligare studier av fåglarna ledde till hans patent från 1897 av en flygmaskin, som aldrig flög men skulle ha haft krökta vingspetsar för att fänga luftflödet vid slutet av varje spets och öka lyftkraften.

Det tog fram till 1970-talet och en höjning av oljepriserna för att något som liknade Lanchesters koncept skulle införlivas i kommersiella flygplan. Idag kallas de winglets, de nästan vertikala vingförlängningarna som förbättrar effektivitet och räckvidd.

Men nu är vi på väg mot en stor ökning av bioinspirerad design inom flyg och rymd på grund av tillkomsten av artificiell intelligens och djup maskininlärning. Sedan ett tjugotal år pågår försök att utveckla styrtor som skall böjas och vridas för att eventuellt ersätta traditionella styva klaffar och minska luftmotstånd och bränsle. NASA visade 1980 att flexibla kontrolltytor kunde öka räckvidden på ett tankningsplan KC-135 med upp till 7% och minska bränsleförbrukningen med uppskattningsvis 3-4% på en modifierad Gulfstream III.

På KC-135 sträckte elmotorer ut eller drog tillbaka armar för att böja ytan uppåt eller nedåt, medan det på Gulfstream III åstadkoms med hydraulcylindrar. Armarna i Gulfstream III-klaffarna var också komposit, inte aluminium, och var geometriskt anordnade för att hålla belastningen jämn och låg över strukturen.

Detta strukturella tillvägagångssätt använder ställdon för att deformera en flexibel struktur i ett stycke, som genomgår en elastisk deformation i motsats till den styva kroppsrörelsen i en konventionell mekanism som vingklaffar med gångjärn. Den största utmaningen är att konstruktionen måste vara flexibel för att överföra



rörelse, men ändå styv nog att motstå vingbelastningarna

Ett annat sätt är att använda smarta ställdon och smarta material. Smarta material kan ändra sin yttre form avsevärt efter att ha fått vissa stimuli som temperatur, tryck, magnetfält etc så att ett flygplan kan ändra sin vingform under flygning. Skalbarheten är dock fortfarande osäker, vilket innebär att vingens slutliga form kanske inte är den önskade. Resultatet kan bli katastrofalt om flygplanet förlorar sin stabilitet.

En fågel måste upptäcka och känna av det atmosfäriska tillståndet liksom sin position så att den kan utföra rätt verkan i en viss miljö. På samma sätt krävs sensorutrustning för att ett morphing-flygplan ska reagera korrekt på den omgivande miljön genom att samla in data som lufttryck, höjd, luftfart och position i förhållande till andra objekt

Efter att ha samlat in tillräckligt med data kommer sensorernas resultat att integreras och bearbetas i fågelns hjärna, eller flygdatoren för ett morphing flygplan. När flygplanet förvandlas och ändrar sin form är flygstabiliteten mycket avgörande och den måste upprätthållas under hela flygningen. Därför måste styrsystemet hela tiden bearbeta sensorernas ingångar, beräkna rätt svar med hjälp av finita elementprogram och generera kommandon, som utlöser aktivering med minsta energi.

Morfningflygning kräver inte bara specialiserade strukturer, utan också specialiserade ställdon, som tar emot kommandon från styrsystemet och ändrar vingformen i enlighet därmed för att optimera flygplanets prestanda och minimera den energi som krävs för manövrering. I själva verket är detta mycket likt en fågels flygmekanik.

Den traditionella stela strukturen hos ett flygplan har inneburit att dess vingar inte kan fungera med sin fulla effektivitet i olika skeden av flygningen. Måsar eller rovfåglar som falkar använder många olika vingformer för att stabilisera sig. Vid stigande är vingarna helt utsträckta och har en mer rundad form, vilket ökar deras stabilitet. De kan öka höjden utan att flaxa med vingarna och på det sättet spara energi. Men om de behöver göra snabba manövrar, som dykning för att fånga ett byte, kan de ändra formen på vingen för just det ändamålet.

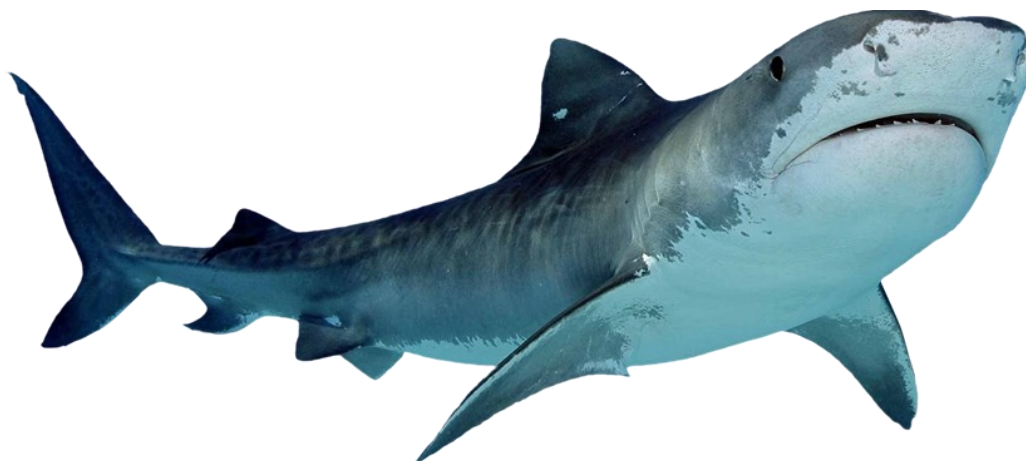
Det finns ett stort tryck på att minska bränsleförbrukningen. Att studera hur fåglar använder vingformen för att sväva långa avstånd och kontrollera sin flygning är särskilt intressant för framtida flygplan och drönare. Drönare med fågelliknande vingar skulle kunna sväva på termik när de skannar rörelseledningar, letar efter tecken på torka eller växtsjukdom på stora gårdar eller övervakar skogsbränders omfattning och utveckling.



## Hajar minskar motstånd

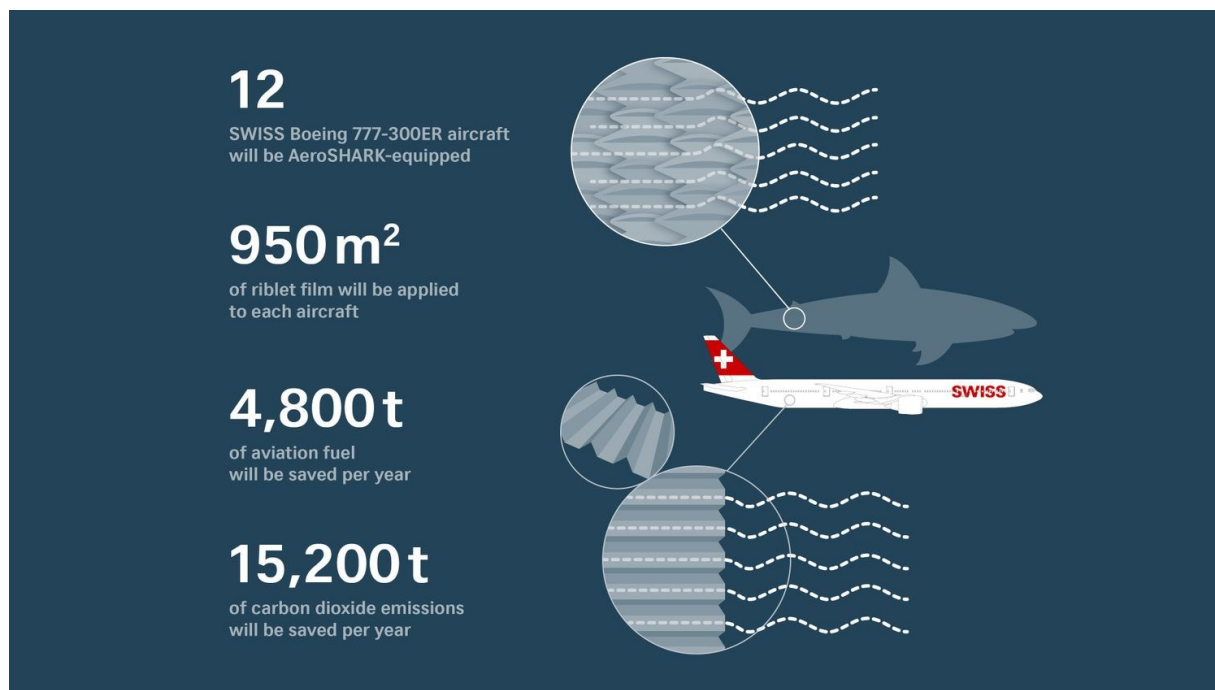
Flygbolaget SWISS kommer att kunna spara cirka 15 200 ton koldioxidutsläpp varje år med hjälp av "hajskinn".

[How Sharks Are Helping SWISS Cut Emissions](#)



Flygbolaget kommer att arbeta med Lufthansa Technik, för att applicera hajskinnsfilmer på alla sina tolv Boeing 777-300ER-flygplan. Lufthansa Technik kommer att täcka varje flygplan med cirka 950 kvadratmeter film. Även om den är osynlig för blotta ögat, är den exponerade sidan av beläggningen full av mikroskopiska gravyrer. Dessa gravyrer är ungefär 50 mikrometer stora och kallas riblets. De unika spåren ingraverade i filmen efterliknar en hajs hud. Hajarna har utvecklats för att simma med minimalt motstånd under miljontals år. När ett liknande mönster tillämpas på flygplan uppnås en liknande effekt med det luftmot-

stånd, som flygplanet upplever. AeroSHARK-hajskinsskiktet applicerades först på ett av Lufthansas Boeing 747-400-flygplan på försöksbasis. Vid den tiden var endast en del av flygplanskroppen täckt, men Lufthansa Technik kunde bekräfta en 0,8% minskning av friktionen. Lufthansa Technik tror att man kan minska koldioxidutsläppen från ett flygplan med cirka 3 procent genom AeroSHARK.



## Turbinblad som morrhår

Forskare inom turbomaskiner vid NASAs Glenn Research Center i Ohio utformar turbinblad med lågt motstånd inspirerade av sälars morrhår. Forskningen är en del av NASA:s Advanced Air Transport Technology Project, ett försök att utveckla effektivare jetmotorer med lägre bränsleförbrukning.  
[Bio-inspired - Aerospace America](#)



Morrhåren liknar i viss mån mogna bönskidor. De har utbuktningar och kanterna är vågiga. På det sättet producerar morrhåren mycket mindre vakar och betydligt lägre turbulens och motstånd än släta morrhår. Detta håller morrhåren relativt stilla medan sälen simmar, så att de kan känna av de små vibrationerna och vakarna från skaldjur i de grumliga arktiska vattnen.

Forskare började kartlägga parametrarna i sälarnas morrhår för åtta år sedan och skapade förstörade 3D-plastmodeller för prov i en låghastighets vindtunnel. Målet var att utveckla ledskenor som skulle leda in luft i turbinsteg i framtida hybrid- elektriska jetmotorer med mindre motstånd än idag. Det skulle dramatiskt kunna förbättra bränsleeffektiviteten och sänka utsläppen.

Vindtunnelproven bekräftade att morrhårens utbuktningar och sicksackkanter, precis som i vattnet, hjälpte till att hålla flödet fäst vid ledskenornas ytor. Topparna, dalarna och vågigheten skapade lågtrycksvägar för luftflödet att följa längs morrhåren och hindrade flödet från att separera och skapa motstånd.

Turbinblad med liknande utbuktningar och sicksack vid sina främre och bakre kanter skulle också kunna minska motståndet, så att de kunde snurra med mindre energi. Det skulle vara fördelaktigt för hybrid-elektriska jetmotorer som kopplar ihop en konventionell turbojetmotor med en fläkt som drivs av en elektrisk motor. I denna konfiguration ger jetmotorn dragkraft men överför också kraft till elmotorn för att driva fläkten och skapa ytterligare dragkraft. För att leverera kraft till elmotorn krävs att turbinmotorn arbetar över ett brett spektrum av effektinställningar, vilket får turbinbladen att snurra vid snabbare och långsammare hastigheter än bladen i en konventionell jetmotor som arbetar över ett mindre varvtalsområde.

Tänk på varje blad som en vinge. Liksom en vinge är turbinbladen formade för att fungera bäst i specifika vinklar i förhållande till inkommande luft. Att snurra bladen snabbare eller långsammare än varvtalsområdet de är formade för kan ändra vinkeln vid vilken varje blad möter luften tillräckligt för att luftflödet ska separeras från dem. Separerat luftflöde ger mindre dragkraft för en viss mängd bränsle än jämnt flödande luft och begränsar utbudet av effektinställningar som en jetmotor kan arbeta med.

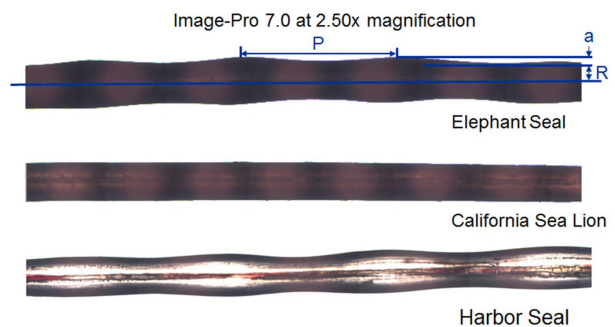
När man jämförde modeller av släta turbinblad med blad med utbuktningar och vågiga kanter, fann man att den bioinspirerade formen minskade luftmotståndet, vilket gjorde det möjligt för turbinbladen att fungera effektivt vid ett bredare spektrum av hastigheter. Det skulle kunna öka dragkraften och minska bränsleförbrukningen.

Men formen på de morrhårsinspirerade turbinbladen kommer att kräva finjustering. Till skillnad från sälarnas morrhår, som har utbuktningar över hela ytan, måste turbinbladen endast ha utbuktningar på ena sidan.

Det beror på att bladen måste ha en lågtryckssida som den övre sidan av en vinge och en högtryckssida som undersidan av en vinge för att producera lyftkraft när blandningen av luft och förbränningsavgaser rusar över bladen. Denna lyftkraft är det som får bladen att snurra för att generera kraft. Bladens lyftsida, den krökta undersidan, får inte ha några vågor.

Modellering av turbinblad med utbuktningar och sicksack vid sina bakre kanter har också visat att vågigheten kan minska buller eftersom formen ger mindre turbulens.

Man fokuserar nu på att översätta resultat till en 3D morrhårsinspirerad design för prov i simulerade miljöer så nära realistiska som möjligt under de kommande fem åren. Slutresultatet kanske inte ser ut som sälarnas morrhår men kommer att inkludera vågigheten.



Jämförelse av morrhår hos tre olika sälar

## Robotfåglar

**Uncrewed aerial vehicles (UAV) kommer att bli en växande mångmiljardindustri under de kommande åren. De har ett brett användningsområde från akuthjälp till läkemedelsleveranser, hemleveranser och precisionsjordbruk. Nu pågår ansträngningar att stärka flygeffektiviteten och intelligensen hos UAV:er för att bättre navigera i bebyggda miljöer. En mängd olika forskargrupper hämtar sin inspiration från naturen. Standarddrönare med propellrar kan flyga i kanske 20 till 30 minuter, men fågelliknande konstruktioner kan åtminstone fördubbla detta genom att använda vinden och luftflödena.**

**[Bird-like robots could assist in medical emergencies and hunt down drones](#)  
[A flapping-wing drone inspired by birds](#)**

GRIFFIN projektet försöker skapa prototyper av mycket självständiga, ultralätta robotfåglar som kan minimera energi under flygning, landa på krökta ytor, utföra uppgifter med rörliga armar och ben och artificiella näbbar och intelligent interagera med människor och miljö. Fåglarna kan också bära integrerade omborddatorer och kameror för visuell navigering.

För att spara energi är ett av forskarnas mål att använda vinden för att robotarna ska kunna sväva som fåglar, och kombinera det med att flaxa när det behövs. Förutom att öka effektiviteten, har en fågelliknande drönare fördelar som förmågan att minska buller och förbättra säkerheten i vissa situationer på grund av frånvaron av propellrar och användningen av mjuka, flexibla material som mikrofiberkompositer och nylon för vingar och stjärt.

Det betyder att de till exempel kan användas för att landa på skadade personer och ta biometriska mätningar eller sätta en mask på dem i en farlig miljö. En annan tillämpning är så kallad 'kontaktinspektion' i industrianläggningar i områden där det kan vara farligt för människor att arbeta på grund av giftiga gaser. Där kan en robot t ex landa på ett rör och mäta dess tjocklek för att upptäcka korrosion.

Hittills har man visat flygning med flaxande vingar både inomhus och utomhus, och förmågan att landa på en liten fyrkantig plattform 20 till 30 centimeter bred. Nästa utmaning är att få fåglarna att sitta på krökta ytor som stolpar eller kablar utan att överbalansera, och sedan koordinera andra funktioner.

För att sitta och greppa har man arbetat med material som kallas formminneslegeringar för att skapa bioinspirerade klor som kan deformeras för att lindas runt en stolpe, något som kommer att vara möjligt när det kombineras med maskininlärning.

Förutom komplexiteten i att samordna funktioner finns det några andra stora utmaningar att övervinna. För det första är övergången mellan flaxande och glidning svår. För lättviktsfåglar med utrustning ombord finns det också utmaningar med den last de kan bära.

Visuell navigering är en annan utmaning för robotfåglar, något som projektet HawkEye undersöker. Dess studier av hur syn styr flygning hos fåglar skulle potentiellt kunna översättas till mer effektiva styrsystem för UAV.

Utvecklingen av mobiltelefon teknik har möjliggjort skapandet av icke-invasiva fästbara sensorer och markörer för att mäta fåglars huvud-, ögon- och kroppsrörelser. Forskarna använder detta för att göra 3D-rekonstruktioner av vad fåglar ser under flygning.

Bortsett från potentialen att tillämpa denna kunskap i navigationsystem, kan den utnyttjas för att hjälpa flygande farkoster att fånga upp drönare som utgör ett hot. Även om visuellt styrda system har utvecklats för missilavlyssning, innebär blockering av



drönare i det mer trånga urbana luftrummet i städer och arenor en ny utmaning. Detta kan få betydelse med tanke på den förväntade tillväxten av antal drönare.

Efter att ha observerat mer än 20 000 flygningar av hökar, falkar, finkar och duvor har man fått en stark förståelse för de underliggande mekanismerna som är involverade i jakt och undvikande av hinder. Man har nu en god förståelse av hur fåglar använder synen för att röra sig effektivt i trånga miljöer. Det verkar finnas en relativt enkel underliggande matematik som fångar de flesta beteenden, vilket potentiellt förenklar skapandet av algoritmer i UAV:er som sedan kan justeras för olika ändamål.

De olika typerna av drönare har olika fördelar. Multirotorer är smidiga men med jämförelsevis låg uthållighet, medan bevingade drönare för närvarande tenderar att ha hög uthållighet men låg smidighet.

Förutom av rovfåglar kan forskare lära sig mycket av många andra fågelarter. Duvor är en utmärkt modell för undersökning eftersom de både kan navigera tillförlitligt i städer och flyga långa sträckor effektivt.

Det finns fortfarande många utmaningar, som fågelliknande drönarens känslighet för vind. Det finns också många frågor att besvara för att förbättra både den biologiska förståelsen av fåglar och hur detta kan tillämpas i drönare, inklusive hur fåglar vrider på stjärten när de glider och hur man optimerar vingarnas förmåga att ändra form.

Fåglar flyger inte bara, utan koordinerar också med varandra, interagerar och fattar komplexa autonoma beslut som våra drönare knappast kan matcha. Fågelinspirerade UAV:er har möjlighet att avsevärt forma framtiden för drönare. Sådana framtida drönare kommer att spela en viktig roll för att hjälpa mänskligheten i sök- och räddningsuppdrag, katastrofbekämpning eller effektiv leverans. För att framgångsrikt slutföra dessa uppdrag måste de navigera autonomt i komplexa miljöer. Därför är utmaningarna som sådana drönare måste övervinna mycket lika de utmaningar som fåglar tar sig an varje dag.



## Robotfåglar

Tanken på robotfåglar är inte ny. Fågelliknande robotar och drönare kallas också ornikoptrar. En av de första kända ornikoptrarna gjordes av trä av greken Archytas och går tillbaka till omkring 400 f.Kr. Den flygande duvans lätta kropp var ihålig och cylindrisk i form. Den inkluderade vingar projicerade ut på vardera sidan och mindre vingar på baksidan. Framsidan av föremålet var spetsigt, som en fågelns näbb. Vid baksidan av den flygande duvan var en öppning som ledde till en inre blåsa med vatten, som upphettades över en eld. När ångans tryck så småningom översteg anslutningens mekaniska motstånd, flög duvan iväg. Flygningen lär ha fortsatt i flera hundra meter.

Under renässansen producerade Leonardo da Vinci över 200 teckningar baserade på hans flygteorier. Han var fascinerad av fåglar, särskilt av fåglarnas förmåga att flyga. Hans ornikopter hade flaxande vingar som drevs av människodrivna fotpedaler.



Även om flera av da Vincis flygplanskonstruktioner har visat sig vara genomförbara, är detta inte en av dem, men den senaste tidens tekniska framsteg gör flaxande drönare till en kommersiell verklighet. Vid Georgie Tech Research Institute utvecklas fram- och återgående kemiska muskler för att generera automatisk vingslagning i mikroluftfordon (MAV), som drivs av kemisk energi. Mekanisk energi produceras från icke-förbrännings kemiska reaktioner.



Andra företag som SRI International utvecklar elastomeriska flygmuskler, som är polymerbaserade för användning i MAVs. De gummiaktiga polymererna kan dra ihop sig helt och expandera när de laddas med elektricitet, ungefär som biologisk muskelvävnad. Denna förening kan hjälpa flaxande drönare att efterlikna färdigheten och rörligheten hos djurvingar.

Animal Dynamics Ltd. utvecklar en mekanisk trollslända som kan användas för flygfotografering och kartläggning. Den förutspås överträffa quadkoptrar och har fått finansiering från U.K. Defense Science and Technology Laboratory och U.S. Air Force.

Forskare tror att flaxande vingdrönare kommer att kunna flyga runt i en stad och utföra uppgifter som flygfotografering, trafikövervakning och informationsinsamling. Både tillverkare och forskare är optimistiska om flaxande vingdrönare eftersom de tror att bioinspirerade konstruktioner kan vara mer effektiva, vilket leder till ökad räckvidd och längre flygtider än rotor- eller fasta vingtyper.

Mänskliga ingenjörer lär därför fortsätta att leta efter inspiration från fåglar och insekter och anpassa sig till mer praktiska tillämpningar och tekniker för att få det bästa av två världar. Flaxande drönare är dock inte i närheten av att imitera biologisk flygning. Några av världens snabbaste fåglar kan uppnå horisontella flyghastigheter upp till 110 km/h. Under flygning kombinerar fåglar ofta flaxande med glidning för att minska energiförbrukningen och dra nytta av luftströmmar. Det lär dröja länge innan robotfåglar uppnår något liknande.



## Flygande vätesensor

Det har alltid funnits hög efterfrågan på sensorer för vätgas i industrisektorer som livsmedel, läckagedetektering, medicin och processkontroll. Nu när väte snart också skall användas som flygbränsle ökar behovet av sensorer med tillräckligt hög känslighet. Nu har en ny ljusaktiverad sensor utvecklats som hämtar inspiration från ytan på fjärilsvingar och som kan upptäcka väteläckor vid rumstemperatur.

Electronics360: [Butterflies inspired this photo-active hydrogen sensor](#)

Befintlig vätesensorteknologi fungerar bra vid 150 ° C och högre, men det innovativa teamet vid RMIT University i Melbourne, Australien, har kommit med ett nytt koncept, som inte har sådana begränsningar. Sensortekniken drivs av ljus istället för värme och efterliknar den ojämna ytan som finns på fjärilsvingar, som består av mikrostrukturer som ger dem deras unika struktur.

Denna skapelse är skalbar, erbjuder ett komplett paket med funktioner och är också kostnadseffektivt. Utbudet av funktioner som just den här sensorn erbjuder kan inte matchas av något som för närvarande finns på marknaden. Vissa modeller är bra på att mäta mycket små mängder, andra kan mäta större koncentrationer av väte. Men problemet är att de alla behöver ganska mycket värme för att fungera ordentligt.

Teamet på RMIT hävdar att den här nya vätesensorn kan tjäna alla syften. De säger att det kan fungera vid rumstemperatur och att den är selektivt känslig och kan detektera väte exakt i ett stort antal mängder.

Vätgas anses vara framtidens bränsle och har stor användning inom medicin. Det finns dock många säkerhetsproblem kring den utbredda användningen av väte, och det är där denna nya sensor kan hjälpa.

Sensorn kan upptäcka väteläckor på ett tillförlitligt och exakt sätt, även på låga nivåer, för att förhindra farliga situationer. Väte kan vara kvävande i stora mängder och kan också explodera med stor kraft om det antänds. Genom att minska räds-lan kring vätekraft kan denna sensor ensam revolutionera vätgasekonomin och underlätta en grönare framtid.

Hur fungerar det? Fotoniska (eller kolloidala) kristaller är det som utgör kärnan i den nya sensorn. Dessa små sfärer är ihålliga och liknar det, som gör fjärilsvingarna grova. De är också mycket effektiva för att absorbera ljus, vilket gör att sensorn kan ta kraft från en ljusstråle snarare än ett överflöd av värme.

En sensor som är billigare att köra än de konventionella vätgas-givarna som körs vid 150 ° C är en biprodukt av denna effektivitet, och de fotoniska kristallerna skapar den perfekta struktur som exakt gasavkänning kräver. En sensor med jämn tillverkningskvalitet och en jämn struktur är en som ger konsekventa resultat.

På grund av dessa bioinspirerade sfärer och en väl avrundad och utvecklad tillverkningsprocess är sensorerna och tekniken bakom dem lätt skalbara till industriella nivåer. Detta innebär att hundratals (om inte tusentals) av dessa sensorer kan tillverkas i snabb takt, vilket gör dem livskraftiga för utbredd användning och perfekta för den globala marknaden.

Elektroniska chips är belagda i ett relativt tunt lager av fotoniska kristaller, och därefter ett lager av titanpalladiumkomposit. När chipset kommer i kontakt med väte omvandlas gasen till vatten. Denna omvandling producerar en elektrisk ström och storleken på denna mäts för att bestämma mängden väte.



I motsats till de befintliga sensorerna på marknaden kan denna teknik exakt skilja mellan väte och andra gaser. Den är mycket selektiv och kommer inte att störas i närvaro av dikväveoxid, till skillnad från dess konkurrenter. Detektering sker innan läckorna blir en risk för säkerheten för människor i närheten och sensorerna kan också upptäcka små spår av gas i andningsluft, vilket är ett symptom på tarmstörningar.

Dessa sensorer kan därför användas inom det medicinska området för att övervaka och diagnostisera gastrointestinala problem. Höga nivåer av väte som detekteras i en persons andedräkt kan signalera sådana problem. För närvarande måste ett andetagstest tas och sedan skickas till ett laboratorium för testning och bearbetning. Allt detta kan förändras med utvecklingen av en sensor som kan integreras i en bärbar handhållen enhet och ge realtidsresultat.

Felmarginalen inom det medicinska området är vanligtvis mycket låg, och denna applikation är inget undantag. Skillnaden mellan hälsosamma halter av väte och ohälsosamma nivåer är cirka 10 delar per miljon, vilket är praktiskt taget omöjligt att upptäcka. Omvänt är mängden väte som behöver vara närvarande för en explosion cirka 40 000 delar per miljon. Den nya sensorn kan mäta exakt på båda nivåerna.

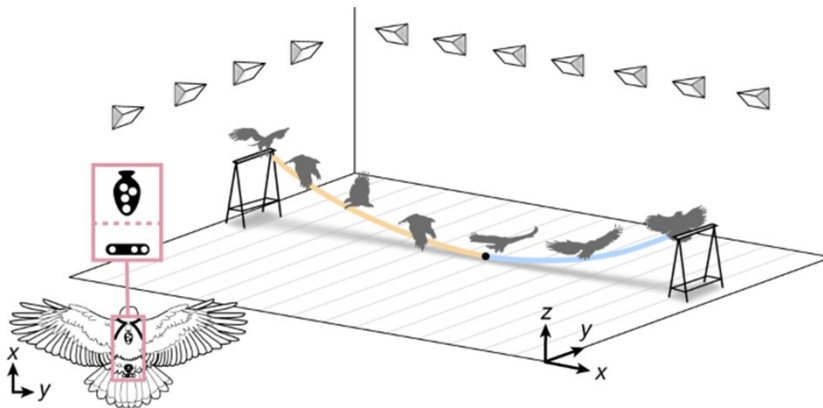


En av de många tillämpningarna av denna nya sensor är att diagnostisera gastrointestinala problem.

## Hur man landar

Landning är en kritisk manöver och har orsakat många flygolyckor. Att titta på fåglar och hur de löser problemet med säker landning kan hjälpa oss att hitta nya bioinspirerade lösningar för framförallt små flygplan.

[Aerodynamics of perching birds could inform aircraft design](http://www.nature.com/articles/s41586-022-04861-4)  
<http://www.nature.com/articles/s41586-022-04861-4>



Forskare vid UCF Department of Mechanical and Aerospace Engineering studerade hökar, som flög mellan två sittpinnar. Deras exakta rörelser registrerades av 20 motion capture-kameror placerade runt rummet, så att man kunde följa deras flygvägar under över 1 500 flygningar. Man använde sedan datorsimuleringar för att förstå hur fåglarna valde sin väg till pinnen.

En typisk flygning började med att höken hoppade framåt i ett dyk som involverade flera kraftfulla vingslag (gul linje). Detta övergick vid sin lägsta punkt (svart prick) till en kraftlös stigning (blå linje), som avslutades med en snabb pitch-up-manöver som slutade med kroppen nästan vertikalt och med vingarna utsträckta när fötterna kom i kontakt med pinnen.

Även om en brantare dykning gör att högre hastigheter kan nå snabbare, visar det sig mer effektivt att förkorta glidfaser för att minska flygtiden. Den tidsoptimala lösningen innebär därför ett långt, grunt dyk och en kort bromsande glidning. Men en kort glidfas kräver mer energi på grund av det högre lyft som krävs för att svepa upp till sittpinnen.

Efter att ha studerat fåglarna drog forskarna slutsatsen att de inte formade sitt flygbeteende för att minimera varken tid eller energi ensam. De strävade i stället efter att minimera avståndet från pinnen där höga lyftkoefficienter blev nödvändiga för att slutföra glidfaser. En kraftlös stigning avslutades med en snabb pitch-up-manöver som slutade med kroppen nästan vertikalt och med vingarna utsträckta när fötterna kom i kontakt med

pinnen.

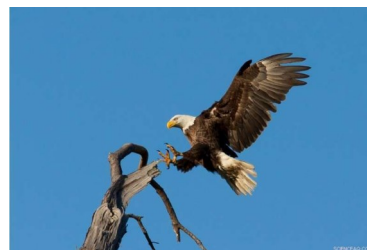
Hökarna utförde en "stall" - en välkänd fara för piloter. Höjs nosen för mycket med för låg hastighet så minskar lyftkraften och planet stannar och faller från himlen. Höken sökte också ett stall. Men om det hände för tidigt föll den och missade pinnen. För sent, och den kraschade med fart in i pinnen. Hökens mål var alltså att skjuta upp stallet så mycket som möjligt för att möjliggöra en precis landning. När fågeln växlade till det nästan upprättstående läget med vingarna utsträckta, hade den praktiskt taget stannat mitt i flygningen och det var det som tillät den att göra en exakt landning.

Högt luftmotstånd krävs för att bromsa med hög kraft i den korta glidfaser. Kraftfull aerodynamisk bromsning är därför nyckeln till att landa i farten, men stallet kan inte fördröjas på obestämd tid. De höga anfallsvinklarna som detta kräver kommer att äventyra kontrollen när det inträffar.

Fåglar fördröjer uppkomsten av stall genom att utföra en karakteristisk snabb manöver när de sätter sig, men snabbheten i denna manöver lämnar lite utrymme för fel och gör optimeringen av dess ingångsförhållanden kritisk. Forskarna fann att den svepande vingrörelsen stabiliserade framkantsvirveln, en av de viktigaste mekanismerna som förbättrar lyftet. Denna stabilisering leder i slutändan till en bättre landning hos fåglar - och potentiellt i flygplan.

För att minimera stallet dök hökarna nedåt medan de flaxade innan de spred

sina vingar när de svängde upp till pinnen. Stigningen utfördes huvudsakligen genom glidning, med enstaka korrigerande rörelser av vingarna snarare än som vingslag som tillförde dragkraft för att kompensera motståndet. Genom att välja precis rätt hastighet och position för att svänga upp till pinnen höll hökarna sina landningar så säkra och kontrollerbara som möjligt.



Hökar och andra fåglar har förstås förmågan att ändra formen på sina vingar mitt i flygningen. Den svepande rörelsen, som ändrar formen på en fågelvinge, ökar lyftet och möjliggör bättre kontroll av aerodynamiska krafter under en landning. Det är så de kan utföra dessa exakta manövrar med så uppenbar lätthet.

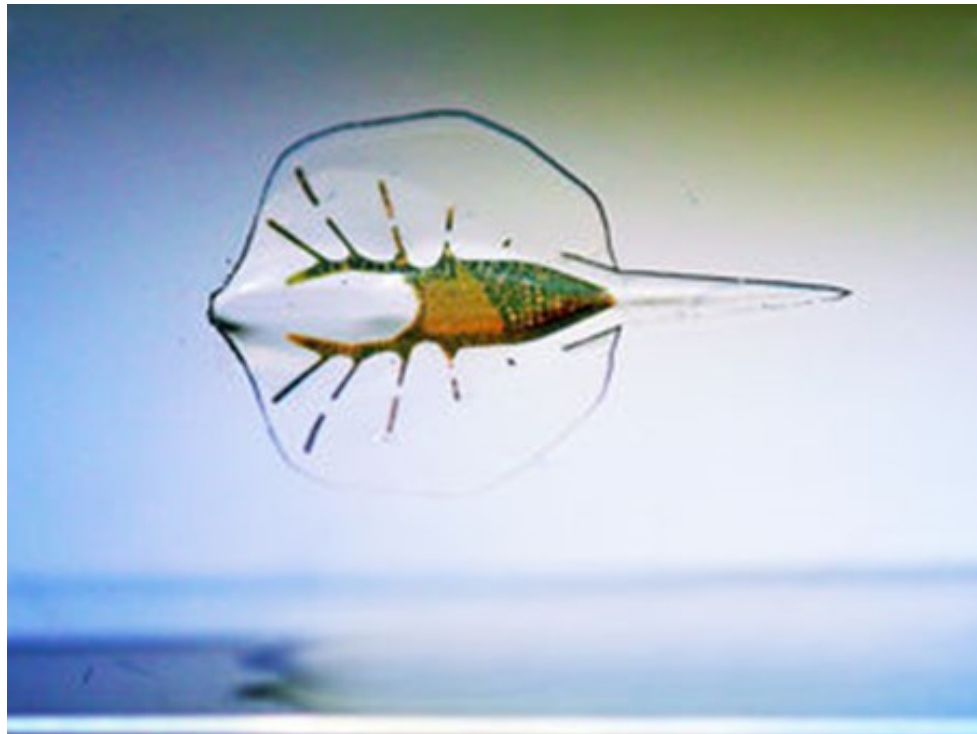
Sammanfattningsvis lärde sig fåglarna svepande banor för att nå pinnen i ett glid, genom att skjuta upp stall tills de var så nära pinnen som möjligt. Att lära sig att minimera stallavstånd i farten kräver att man kombinerar aeromekanisk information (till exempel från fjädrar eller muskler) och avståndsinformation (från optiska signaler). Fly-by-feel-koncept kan därför visa sig vara avgörande för inlärning och kontroll av landning i autonoma fordon. Tills våra flygmaskiner kan göra det kommer vi att behöva de långa landningsbanorna.

Det kräver också bättre artificiell intelligens (AI). När forskarna använde datorer för att lösa problemet med att landa med hjälp av en trial-and-error-metod för att förfin data kunde det ta tiotals och hundratals timmar att hitta ett svar. Hökarna hittade däremot en optimerad lösning efter en handfull flygningar, vilket visar klyftan som fortfarande finns mellan naturlig och artificiell intelligens.

## En robotstingrocka, som drivs av verkliga muskler

Luft är inte det enda medium genom vilket djuren rör sig genom flaxande. Många varelser har vingar eller vingliknande strukturer för att "flyga" genom vatten. En grupp vid Harvard University har byggt en robotstingrocka, som imiterar rörelsen hos dess biologiska motsvarighet. Dessutom gör den det inte med elektriska kretsar och servon som konventionella robotar, men med muskelceller konstruerade för att efterlikna de eleganta vågrörelserna i en levande stingrocka..

[Biomimetic engineering: Flight of fancy | The Economist](#)



Det är en så kallad mjuk robot. Mjuka robotar, som är gjorda av material som latex och silikon, kan pressa sig genom trånga öppningar, hantera ömtåliga objekt och interagera med människor långt säkrare än sina stela metall och plast motsvarigheter. De flesta mjuka robotar drivs av pneumatiskt tryck eller kablar som i sin tur drivs av skrymmande motorer. Men verkliga muskler är mycket mer meningsfullt för en mjuk robot, eftersom musklerna också är mjuka och drivs av glukos, inte av motorer.

Forskarna valde muskler från råttor för sin robot. De odlade råttmuskelceller och "printade" dem sedan på skivor av elastomer som skulle fungera som underlag för en robots vingar. Muskelceller fungerar genom att dra ihop sig, vilket är anledningen till att muskler ofta fungerar i par (som biceps och triceps i armen), där delarna drar i motsatta riktningar. För enkelhets skull så använde man bara ett skikt av en muskel för att dra i en riktning. Motdraget tillhandahålls av ett skelett av guld som hade satts under spänning av muskelcellernas ursprungliga kompression.

För att samordna muskelcellernas sammandragning på ett sätt som kunde driva roboten framåt, så printade man dem i slingrande mönster. När en cell aktiverades släppte den kalciumjoner som agerade (så som händer i naturen) som en signal till nästa cell att dra ihop sig. På det sättet överför-

des vågor av muskelrörelser från en ände av roboten till den andra.

Muskelcellerna var genetiskt manipulerade så att ljus aktiverade deras sammandragning. Blinkande ljus på framsidan av robotens fenor gjorde att en vågrörelse började spridas. Varje ny blixtnöje löste en ny vågrörelse, så att roboten rörde sig framåt i en rak linje. Om man ökade blinkfrekvensen på ena sidan av roboten men inte på den andra så flaxade den vingen snabbare och roboten roterade. På det sättet kunde man styra roboten. En således kontrollerad 16mm lång robot kunde förflytta sig 90 mm på en minut och slutföra en 250 mm lång slalombana vid den hastigheten utan att röra något av hindren. Dessutom var det möjligt att göra det sex dagar i följd och behålla 80% av den ursprungliga hastighet intill den sista dagen.

Vad en sådan robot kan användas till återstår att se. Den nuvarande konstruktionen kräver att vätskan som roboten simmar i innehåller glukos för att driva musklerna. En framtida version kan vara försedd med en glukosbehållare och ett hjärt-kärlsystem för att cirkulera glukos. Roboten skulle då kunna användas i vatten bara det fanns tillräckligt med syre där för att muskelcellerna skulle kunna andas. Den skulle då likna ett riktigt djur fast konstgjort.

