

A diver in a dark suit and mask is seen from behind, illuminated by a bright light on their head. They are positioned in the upper left quadrant of the frame, looking down at a diverse and colorful underwater reef. The reef is covered in various organisms, including pinkish-red sponges, purple and red starfish, and numerous yellow and white sponges. The background is a deep, dark green, suggesting a deep-sea environment.

Fascinerande forskning

*för skolan med fokus på
biologisk mångfald*

Fascinerande forskning – för skolan med fokus på biologisk mångfald

© Nationellt resurscentrum för biologiundervisning vid Uppsala universitet och Martin Granbom samt respektive författare och övriga upphovspersoner, 2024

Får fritt kopieras i icke-kommersiellt syfte om källan anges. För att få använda bilder som fristående objekt kan tillstånd krävas.

Produktion och tryck har möjliggjorts tack vare bidrag från Tage Swahns Stiftelse för Undervisning och Forskning samt Olle Engkvists Stiftelse.

Redaktion: Brittmari Lidesten (redaktör), Martin Granbom, Ammie Berglund, Lisa Reimegård

Omslagsbild: Tobias Dahlin

För fler exemplar; kontakta info@bioresurs.uu.se

Upplaga: 14 000 exemplar

ISBN 978-91-988806-2-5 (tryck), 978-91-988806-3-2 (digital version)

Tryck: Stibo Complete AS



1 Mångfalden förändras

Text av **Martin Granbom**

Livet på jorden har funnits i cirka 3,8 miljarder år och har resulterat i en stor mångfald av arter. Under årmiljonerna har många arter dött ut, eftersom de inte längre varit tillräckligt väl anpassade för sin livsmiljö och därför blivit utkonkurrerade. Samtidigt har nya arter bildats som koloniserat lämpliga miljöer.

Allt sedan livet uppstod på jorden har det successivt skett en utveckling av nya livsformer, medan andra har dött ut. När miljöer förändras blir andra egenskaper värdefulla än de som varit viktiga tidigare. Om det finns en genetisk variation inom arten kommer individer som är bäst anpassade till den förändrade miljön att få störst avkomma och därmed konkurrera ut individer som inte klarar att föröka sig lika bra, men det förutsätter att miljöförändringarna inte sker alltför snabbt. På så sätt sker en utveckling och anpassning till de nya förutsättningarna, en process som kallas evolution och innebär att nya livsformer ständigt uppstår där det finns livsutrymme, nischer, att erövra. Antalet arter är därför inte konstant utan kommer alltid att förändras med tiden.

Arter som lever i samma miljö samverkar med varandra i komplexa ekosystem. Vissa arter kan vara särskilt viktiga för ett ekosystems funktion eftersom de skapar livsmiljöer för andra arter eller bidrar till artspridning. För att förstå hur ekosystem fungerar räcker det inte att räkna och jämföra antalet arter i olika ekosystem, eller att undersöka artantalet i ett visst ekosystem vid olika tidpunkter, utan det gäller att förstå vilka roller arterna spelar i ekosystemen.

Vad är biologisk mångfald?

Bevarandet av biologisk mångfald handlar inte bara om att förhindra att arter utrotas. Det handlar även om att bevara variationen av livsformer och deras funktioner i den mångfald av ekosystem som finns på jorden.

I samband med FN:s konferens om miljö och hållbar utveckling i Rio de Janeiro 1992 togs en konvention om biologisk

mångfald fram som undertecknades av 196 stater, däribland Sverige. Bland de stater som hittills inte slutgiltigt godkänt konventionen finns bland andra USA. Sedan 1992 har konventionen utökats med flera tillägg för att bevarandearbetet ska stärkas och bli mer effektivt. I konventionen från Rio-konferensen ges följande förklaring till biologisk mångfald:

“Biologisk mångfald är variationsrikedomen bland levande organismer i alla miljöer (inklusive landbaserade, marina och andra akvatiska ekosystem) samt de ekologiska komplex i vilka dessa organismer ingår; detta innefattar mångfald inom arter, mellan arter och av ekosystem.”

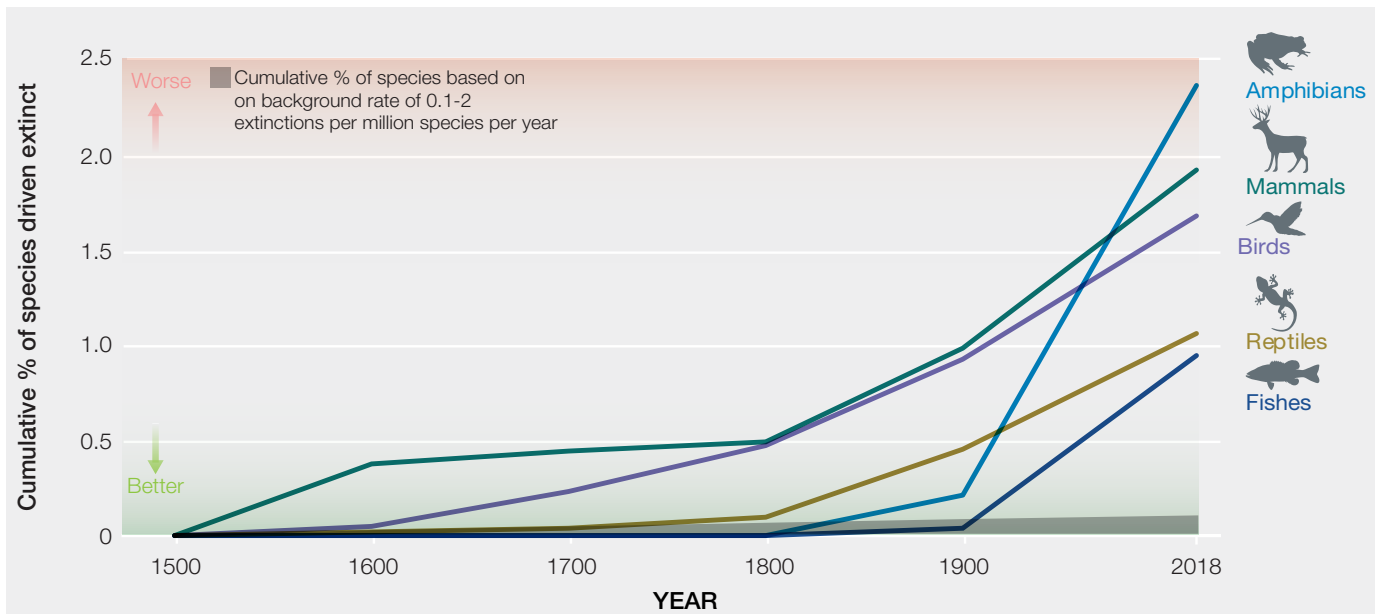
Syftet med konventionen är att bevara den biologiska mångfalden i de tre nivåerna ekosystem, arter och gener, samt att utnyttja naturresurserna långsiktigt hållbart och fördela vinster från genetiska resurser rättvist. Konventionen slår fast att alla stater har ett moraliskt ansvar för att bevara biodiversiteten, inte minst för att det är omöjligt att överblicka vilka konsekvenser minskad biologisk mångfald kan leda till. Konsekvenserna kan vara ekologiska, där vissa arter påverkar andra arters förekomst. Utrotning av en art kan därmed få oöverblickbara ekologiska kaskadeffekter. Utöver det kan vi människor påverkas av att den biologiska mångfalden minskar, genom att ekosystemtjänster försvinner eller beroende på att gener som är viktiga för matproduktion eller för medicinska syften inte längre finns kvar i genpoolen.

Kunskap om arter är viktig

Ingen vet hur många arter det finns på jorden idag. Det har gjorts många försök att uppskatta antalet arter, och även om ingen säkert vet är de flesta överens om att det är betydligt högre än de knappt två miljoner namngivna arter som hittills beskrivits. Många forskare tror att det kan röra sig om

Bilden på föregående sida är tagen utanför Ingarö i Stockholms skärgård.

Foto: J Lokrantz/Azote



Figur 1. Förändring av utrotningstakten för grupper av ryggradsdjur sedan 1500-talet. Alla arter är inte bedömda, men figuren ger en god indikation om att utrotningstakten ökar på en global skala.

Den gröna, breda linjen längst ner visar bakgrunds-nivån för utrotningstakten som baseras på 0,1–2 utrotade arter årligen per miljon arter. Y-axeln visar arter (kumulativt) som utrotats i procent av bakgrunds-nivån. Kumulativt innebär att alla arter som utrotats fram till ett visst årtal har summerats.

Källa: Purvis, A. et al. (2019). Kapitel 2.2, Status and Trends – Nature, i *The global assessment report on biodiversity and ecosystem services*, IPBES, CC BY 4.0. (doi/10.5281/zenodo.3832005)

cirka tio miljoner arter, men kanske finns det så många som trettio miljoner. Att räkna antalet arter på jorden låter kanske inte omöjligt, men är i realiteten väldigt svårt. Många miljöer är svårtillgängliga, såsom havsdjupen och trädkronorna i en regnskog, och vissa arter är så små att de är svåra att se, eller så ovanliga att det är svårt att hitta dem. Det finns också många arter som lever inuti andra arter, vilket gör att de inte upptäcks så lätt. Dessutom gäller det att kunna särskilja närstående arter eftersom det kan vara oklart om det handlar om variationer inom arterna eller om skillnaderna är så stora att det är olika arter.

Särskilt svårt är det att skilja ut arter av bakterier då många arter inte kan odlas och undersökas på labb. De flesta bakteriearter i naturliga miljöer, som exempelvis i olika jordar, sjöar, vattendrag och hav, är okända.

Bakterier kan även utbyta genetiskt material på ett okontrollerat sätt, vilket gör att släktskapet mellan arter blir svårt att fastställa. Det krävs ofta att DNA sekvenseras för att det ska gå att ange vilken art det rör sig om. Hur många arter av bakterier det finns totalt är än så länge omöjligt att veta.

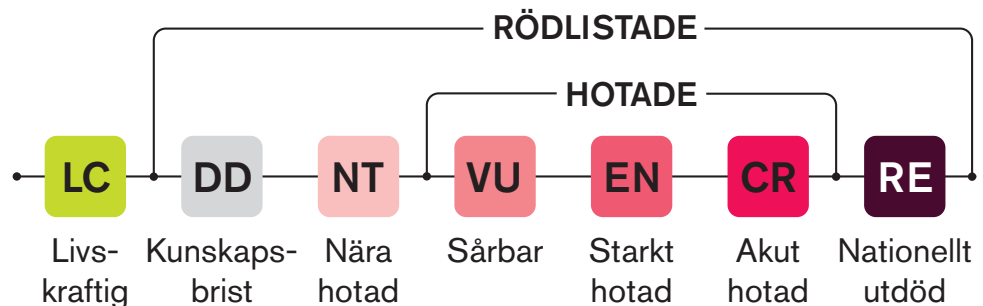
Kartläggning av arter

Regeringen och riksdagen tog år 2002 initiativ till *Svenska Artprojektet*. Uppdraget är att kartlägga och beskriva samtliga svenska flercelliga växter, djur och svampar, samt göra kunskapen om dessa tillgänglig. Artdatabanken vid Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) ansvarar för sammanställningarna och publicerar efterhand resultaten för olika organismgrupper. I samband med arbetet får samtliga arter också svenska namn – tidigare har många arter enbart haft latinska

Figur 2. Artdatabanken, SLU, ger vart femte år ut en lista över arter och deras hotstatus i Sverige, *Rödlistade arter i Sverige*. Den senaste rödlistan publicerades 2020. De rödlistade arterna delas in i kategorier enligt figuren.

Det finns cirka 61 000 kända flercelliga arter i Sverige. I 2020 års version av rödlistan bedöms 21 740 arter och 4 746 av dem klassas som rödlistade (NT, VU, EN, CR, RE eller DD) varav 2 249 arter som hotade (VU, EN eller CR).

Illustration: SLU Artdatabanken (2020). Rödlistade arter i Sverige 2020. SLU, Uppsala



namn. Med svenska namn blir det lättare att prata om arter och det blir också lättare att öka intresset för de svenska arterna. Genom bokverket *Nationalnyckeln till Sveriges flora och fauna* och den digitala informationen i Artfakta och Artportalen, sprids kunskap till forskare, myndigheter och en intresserad allmänhet. Arbetet med Nationalnyckeln är inte på långa vägar klart, men har redan gett många intressanta resultat, som exempelvis att mer än 3000 arter har påträffats som inte tidigare varit kända i Sverige, varav cirka 1000 är okända för vetenskapen.

Artdatabanken vid SLU ansvarar även för att ge ut en lista över arter och deras hotstatus i Sverige, *Rödlistade arter i Sverige*, och uppdatera denna vart femte år. Endast cirka 22000 av de totalt cirka 61000 flercelliga svenska arterna har hittills bedömts och av dessa finns 4746 arter upptagna i 2020 års rödlista, varav 2249 delas in i olika hotkategorier (figur 2). Det totala, verkliga antalet hotade arter går inte att fastställa med dagens kunskapsnivå. Även andra arter tas upp i rödlistan: de som är utdöda i Sverige, nära hotade och för vilka det finns en kunskapsbrist. I den senaste rödlistan har antalet rödlistade arter ökat jämfört med tidigare. Det beror dels på att fler arter har bedömts, dels på

att andelen hotade arter har ökat, och därmed syns en negativ trend för den biologiska mångfalden i Sverige.

Internationellt arbete

IUCN, *The International Union for Conservation of Nature (Internationella naturvårdsunionen)*, är en organisation med både regeringar och andra aktörer som medlemmar. 1964 började organisationen kartlägga arter som är hotade eller i behov av stödåtgärder. Antalet arter på listan har växt betydligt under åren, och med denna som grund har IPBES (*Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*) gjort bedömningen att det finns cirka en miljon arter som hotas av utrotning på grund av mänskliga aktiviteter såsom förändrad markanvändning, överexploatering genom fiske och jakt, spridning av invasiva arter och klimatförändringar.

Viktigt att känna igen arter

Redan tidigt i människans utveckling har artkunskap varit viktig. För att kunna berätta för någon annan vilken växt som är ätlig eller för att kunna förklara vägen genom en skog har det varit nödvändigt att sätta namn på arter och därigenom skapa en gemensam

CARL VON LINNÉ (1707–1778)

Carl von Linné föddes i Råshult i Småland 1707. Efter studier blev han så småningom professor i medicin och botanik vid Uppsala universitet och en mycket uppskattad föreläsare och exkursionsledare för studenterna. Ett citat från *Critica Botanica* 1737 visar hur viktig Linné ansåg artkunskap var: "Om du inte känner till namnen försvinner också din kunskap om tingen." Han skapade ett system för att namnge och klassificera arter som fortfarande används internationellt. Det gör honom till en av de mest kända svenskarna i världen trots att han levde på 1700-talet.

Linné räknas som den moderna systematikens fader och även om han inte var först med att skapa ett internationellt system för namngivning av arter, är det hans system som utgör grunden idag. Linné grupperade arter hierarkiskt baserat på deras fysiska egenskaper. Varje art har ett släktnamn och ett artepitet, båda på latin. Artepitetet säger ofta något om artens utseende eller i vilken miljö den växer. Linné antog att det fanns cirka 25000 växtarter på jorden, men idag vet vi att det verkliga antalet är långt fler än så och antalet beskrivna arter ökar ständigt.

Figur 3.



Carl von Linné, porträtterad av Alexander Roslin 1775.

Foto: Nationalmuseum, public domain

faktabas. När människor levde mer isolerat hade säkerligen varje grupp egna namn på arterna, men efterhand som kontakterna mellan olika befolkningsgrupper blev fler växte också behovet av ett gemensamt system för att namnge arter. Läs om Carl von Linnés namngivningssystem i figur 3, sida 9.

Arter brukar numera grupperas utifrån deras evolutionära släktskap, som illustreras med så kallade fylogenetiska träd (se figurer i följande artikel "Biologisk mångfald utvecklas"). För att undersöka släktskapet görs DNA-sekvenseringar, vilket har resulterat i att tidigare släkträd ibland har reviderats.

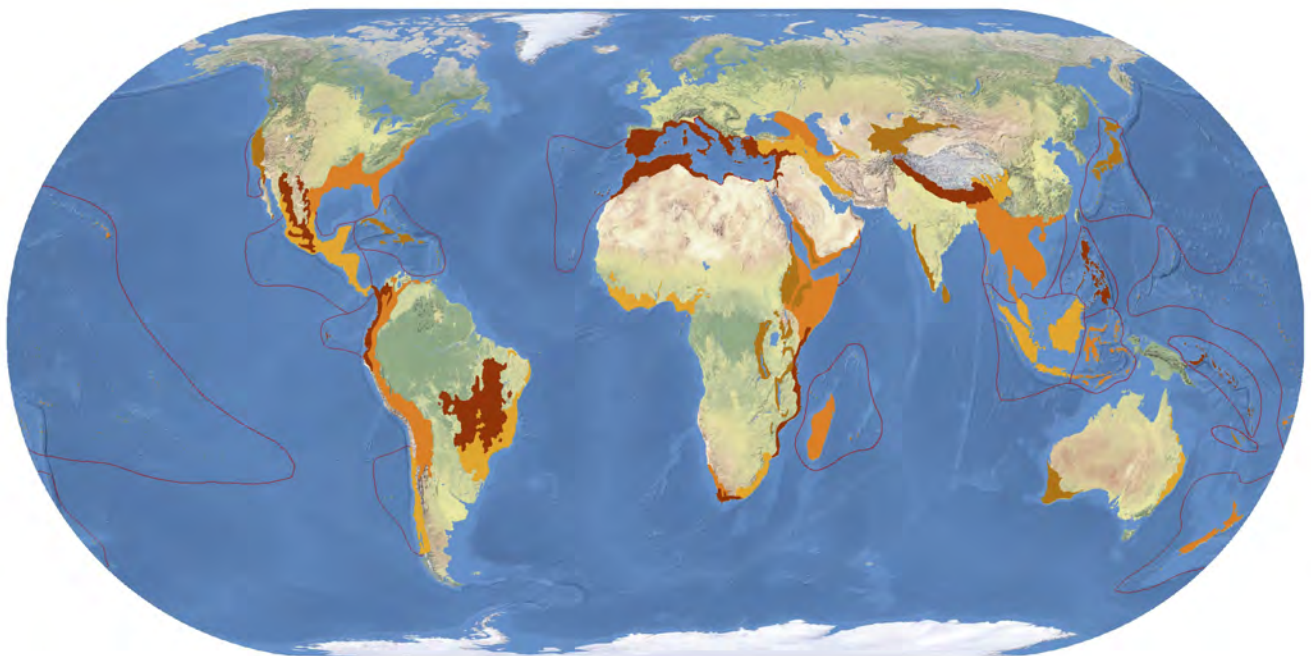
För att förstå problematiken kring bevarande av biologisk mångfald krävs kunskap om arter och deras ekologi. Först då kan man tolka observationer och förstå hur den biologiska mångfalden bäst bevaras. Det är naturligtvis omöjligt för dem som inventerar naturområden att kunna alla arter. För att underlätta kan så kallade signalarter användas. Det är arter som indikerar områden med särskilt höga naturvärden och där det ofta även finns sällsynta arter. Skilda miljöer karaktäriseras av olika signalarter.

Var finns störst mångfald?

Antalet arter varierar inom olika regioner och mellan naturtyper, vilket beror på flera orsaker. Först och främst bildas arter ofta genom specialisering och där den naturliga selektionen kunnat verka ostört i årmiljoner har graden av specialisering blivit allt större. Det har medfört att miljöer som varit opåverkade av människan under lång tid i regel är väldigt artrika, exempelvis tropiska regnskogar och korallrev.

Öar har ofta en särpräglad flora och fauna eftersom det genetiska utbytet med andra områden är begränsat. Ett bra exempel är Madagaskar där 200 000 arter påträffats, varav 160 000 inte hittats någon annanstans på jorden och alltså är endemiska.

För att ett rikt växt- och djurliv ska utvecklas krävs god tillgång på ljus, värme, vatten och näringsämnen. Därför är ofta artrikedomen större i varma, fuktiga områden jämfört med till exempel Arktis eller Antarktis. Men arter som utvecklas i kallt klimat är också viktiga att bevara eftersom andra egenskaper och kombinationer av gener gynnas i dessa miljöer.



Figur 4. Kartans markeringar i olika nyanser av gult/orange/rött visar biodiversitetshotspots, det vill säga områden där den biologiska mångfalden är extremt stor. De olika färgerna används bara för att skilja närliggande områden åt och har ingen övrig betydelse.

Källa: Kellee Koenig (2016). Biodiversity Hotspots Map (no text). Zenodo. CC BY 4.0.



Biodiversitetshotspots

Forskare har tagit fram särskilt viktiga områden för den biologiska mångfalden med extremt stor rikedom av endemiska arter som också utsätts för hot av olika slag (figur 4). Enligt ett förslag från en internationell naturvårdsorganisation har 36 områden utsetts till biodiversitetshotspots och dessa innehåller tillsammans cirka 60 procent av alla jordens arter. Exempel på biodiversitetshotspots är Madagaskar, Nya Zeeland och delar av Amazonas.

Även naturen i Kaukasus är extremt varierad och erbjuder därför många olika livsmiljöer för växter och djur. I detta område, mellan Svarta havet och Kaspiska havet, möts flora och fauna från Mellanöstern, Asien och Europa vilket ger en stor artdiversitet. Kaukasus är relativt otillgängligt och där överlever arter som har svårt att klara sig i närheten av människan. Dessutom har specifika arter utvecklats som är endemiska för området. I Kaukasus finns cirka 6500 växtar-

ter (1600 endemiska), 131 däggdjursarter (18 endemiska), 86 kräldjursarter (20 endemiska) och, givetvis, fåglar, amfibier och fiskar med flera organismgrupper.

Indo-Burma är ett område i Sydostasien som saknar kust och är ovanligt tätbefolkat för att ha en så rik biologisk mångfald. Många som bor i området är direkt beroende av naturresurser i form av småskaligt jordbruk. Ett tydligt tecken på att delar av området är svårtillgängligt är att sedan 1992 har sex stora däggdjursarter hittats här, som är nya för vetenskapen. Fågelfaunan består av cirka 1200 arter och där finns även många sköldpaddsorter varav många är endemiska.

På kartan i figur 4 markeras inga biodiversitetshotspots i Sverige men det finns ändå områden här som är mycket artrika. Det kan exempelvis vara en traditionellt skött ängsmark eller betesmark. I ett område med gammal, förhållandevis orörd naturskog är artrikedomen mycket hög vid jämförelse med omgivande produktionsskog.

Figur 5. I Kaukasus finns stora otillgängliga områden som gör att många arter som inte trivs i människans närhet överlever. Här finner man arter från Europa, Mellanöstern och Asien, och utöver det, flera endemiska arter som bara återfinns här.

Foto: Vyacheslav Argenberg, commons.wikimedia.org
CC BY 4.0

Biologisk mångfald utvecklas

Den enda plats i Universum där vi vet att det finns liv är jorden. Men vi har faktiskt inte en susning om hur många olika arter av djur, växter, svampar, bakterier och andra organismer som finns på jorden. Uppskattningsvis har drygt två miljoner arter beskrivits av forskare, men det finns ännu ingen komplett lista över alla dessa arter. Det verkliga antalet har uppskattats till fem, tio eller kanske femtio miljoner. Faktum är att det är mer som vi inte vet än vad vi vet om jordens organismer!

Texten är skriven av:

Per Alström

Forskare vid Institutionen för ekologi och evolution vid Uppsala universitet, som studerar fåglars släktskap och evolution. Publicerat fler än 200 artiklar, två böcker och ett flertal bokkapitel om fåglar. Tidigare gästprofessor vid Kinesiska vetenskapsakademien och gästforskare vid University of Cape Town, Sydafrika, och arbetat vid Naturhistoriska riksmuseet och SLU Artdatabanken. Har tillbringat flera år i fält i olika delar av världen, särskilt i dåligt utforskade områden i Asien. Fotot är taget på 4600 meters höjd i Meilixue Shan, Yunnan, Kina.



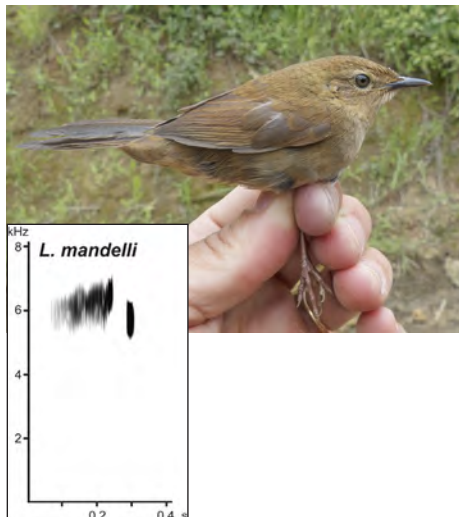
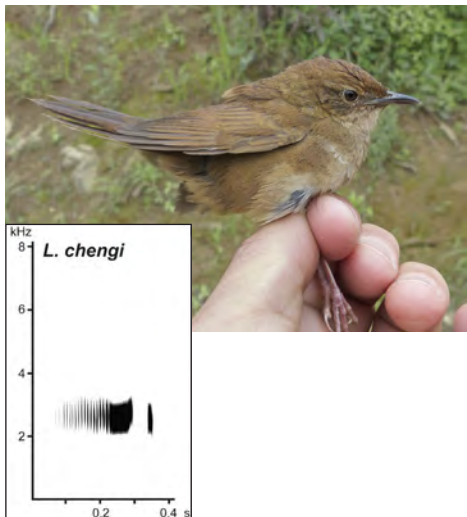
Foto: Zhao Chao

De största kunskapsluckorna gäller sannolikt insekter (som är den – såvitt vi vet – största djurgruppen), svampar (varav många är mikroskopiska eller lever på platser där de är osynliga för oss), encelliga djur, arkéer och bakterier. Inom dessa grupper kan man hitta nya arter för vetenskapen även i Sverige. Exempelvis har Svenska Malaisefällexpeditionen, som under några år samlade in 25 miljoner insekter över hela Sverige med hjälp av så kallade malaisefällexpeditioner (uppkallade efter den svenske insektsforskaren René Malaise), hittat fler än 1 000 nya arter för vetenskapen (och fortfarande återstår en stor del av materialet att undersöka)! När det gäller fåglar, som jag forskar på, och däggdjur, är merparten av alla arter upptäckta: cirka 11 000 fågel- och cirka 6 500 däggdjursarter. Trots att endast mycket få nya fågelarter hittas varje år, ökar antalet arter snabbare än så. Detta beror på att fåglar som tidigare klassificerats som underarter har studerats med moderna tekniker och då visat sig vara så distinkta att de istället anses vara olika arter. DNA-analyser är oerhört betydelsefulla i detta sammanhang, liksom studier av läten och beteenden, som man tidigare hade väldigt lite kunskap om.

Jag har varit med och upptäckt och namngivit sju för vetenskapen nya arter och tre nya underarter av fåglar. De nya arterna hittade vi i olika bergsområden i Kina, nordöstra Indien, norra Vietnam och

vid en biflod till Mekongfloden i Kambodja. Alla utom en av dessa är oerhört lika en eller flera andra arter till utseendet – men vi avslöjade dem genom att de hade en unik sång. När vi sedan studerade dem i detalj, kunde vi konstatera att det fanns små men tydliga skillnader även i utseende och ofta även i beteende och mellan miljöer där de levde. Dessutom fanns åtminstone fyra av dem i samma område som närbesläktade arter utan tecken på att de parade sig med varandra. Analyser av deras DNA visade också att de varit åtskilda från sina närmaste släktingar i upp till flera miljoner år.

När man tror sig ha upptäckt en ny art, måste man först fastställa att arten inte redan är beskriven, men bortglömd. Detta kan vara oerhört tidskrävande, mödosamt och kostsamt. Äldre litteratur (som kan vara på ryska, kinesiska eller persiska...) måste studeras, och ofta måste museisamlingar i olika delar av världen besökas för att avgöra om den potentiellt nya arten redan finns i någon av dessa. När man väl känner sig övertygad om att det verkligen är en obeskriven art man hittat, måste fyndet publiceras i en vetenskaplig tidskrift. Det finns ett stort antal regler som måste följas när man ger en art dess vetenskapliga namn. Tre av arterna jag varit med och beskrivit har vi gett namn efter framstående asiatiska ornitologer, för att hedra dessa: *Motacilla samveasnae* (mekongärsla) efter Sam Veasnae från Kambodja, *Locustella chengi* (sichuan-



Figur 1. Till vänster *Locustella chengi* och till höger *Locustella mandelli*, båda från Laojun Shan, Sichuan, China. Upptagningar av deras läten visas under respektive art. Till det yttre är det små skillnader mellan arterna, men deras läte avslöjar att det är två olika arter.

Foto: Per Alström

Referens: Alström, P. et al. (2015). Integrative taxonomy of the Russet Bush Warbler *Locustella mandelli* complex reveals a new species from central China *Avian Research* 6:9. (doi.org/10.1186/s40657-015-0016-z)

”

Faktum är att DNA-analyser har revolutionerat vår kunskap om "livets träd".

smygsångare) efter Tso-hsin Cheng från Kina och *Zoothera salimalii* (himalayatrast) efter Sálím Ali från Indien. Sammantaget kan det vara en mycket långdragen process att beskriva en ny art. I ett av de fall som jag arbetat med tog det tolv år från det att vi först insåg att det sannolikt var en ny art vi hittat till dess att artikeln var publicerad! Snabbare och effektivare sätt att beskriva nya arter behövs verkligen! Förslag som innefattar fotografier och DNA-sekvenser har framförts, men är ännu inte vedertagna.

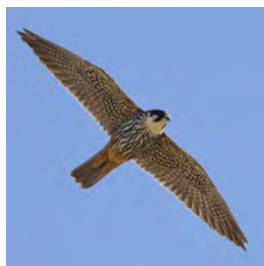
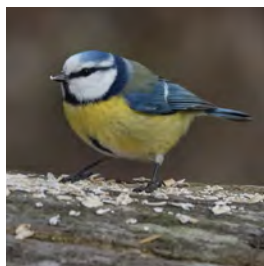
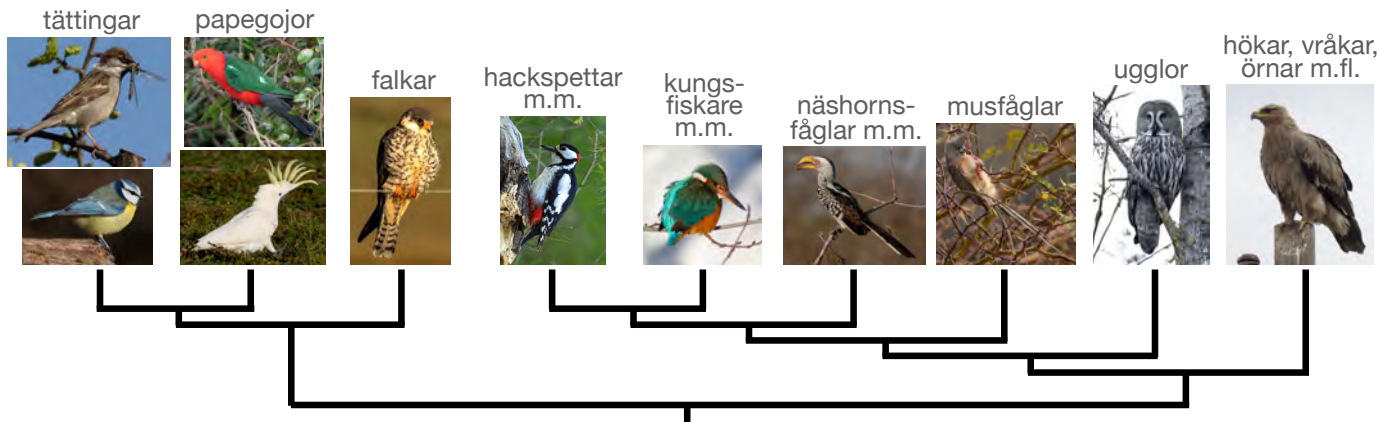
Man kan tro att analyser av DNA borde räcka för att avgöra om en viss organism är en ny art eller inte. Kan man inte bara besluta att en viss procentuell skillnad mellan två organismer avgör om de är samma eller olika arter? Nej, tyvärr inte. Ett av skälen är att två organismer kan vara oerhört lika genetiskt, men att de inte alls parar sig med varandra, exempelvis på grund av att de inte attraheras av varandras parningssignaler (såsom sång hos fåglar) eller för att de förökar sig i olika miljöer (som insekter som lägger ägg på olika växter). Dessutom finns inga ge-

ner som har en konstant evolutionstakt hos alla organismer, som skulle kunna användas som "artavgränsningsgener". Däremot används numera ofta DNA-sekvenser, så kallade "barcodingener", för att identifiera redan kända arter (och för att upptäcka nya arter, i till exempel jord- eller vattenprover).

Även om DNA är ett mycket användbart hjälpmedel när det gäller att beskriva och identifiera arter, är DNA till ännu större hjälp när det gäller att rekonstruera släktskapsförhållanden mellan arter. Faktum är att DNA-analyser har revolutionerat vår kunskap om "livets träd". DNA-studier har många gånger avslöjat att arter som ansetts vara nära släkt med varandra inte alls är det.

Ett exempel är att falkar visat sig vara närmare släkt med tättingar ("småfåglar") än med övriga rovfåglar. (Se figur 2.) En lärkfalk är alltså närmare släkt med en blåmes än med en sparvhök! Anledningen till att falkar liknar hökar och andra rovfåglar till utseendet är att de alla har anpassats till att fånga och äta fåglar och andra djur. Detta kallas konvergent evolution.

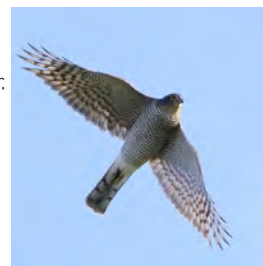
Omvänt har DNA-analyser många gånger visat att arter som inte är lika till utseendet kan vara väldigt nära släkt. Exempelvis är flamingor och doppingar, som är oerhört olika utseendemässigt, varandras närmaste släktingar, men de har utvecklat stora skillnader i utseende eftersom de anpassats till väldigt olika livsstilar – ett exempel på divergent evolution.



Figur 2. Falkar är närmare släkt med tättingar ("småfåglar") än med hökar och andra rovfåglar, se släkträdet ovan.

Blåmes, längst till vänster, ett exempel från gruppen tättingar. Lärkfalk till vänster och sparvhök till höger. Se placeringen av dessa arter i släkträdet.

Foto: Per Alström (släkträdet ovan, samt blåmes och lärkfalk till vänster) och Björn Malmhagen (sparvhök till höger)



Familjen Motacillidae

piplärkor

ärlor

Alström, et al. 2015.
Royal Society Open
Science 2: 140364

5.0 0.0
miljoner år sedan



Trädlevande piplärka!



Skogslevande ärla!



Figur 3. Den trädlevande piplärkan (burupiplärka) och den skogslevande ärlan (sätoméärla) är så olika sina närmaste släktingar att forskarna inte insåg till vilka grupper de hörde förrän DNA-studier kunde göras. Två foton på andra arter av piplärkor respektive ärlor finns för jämförelse till vänster om bilderna på den trädlevande piplärkan och den skogslevande ärlan.

Referens: Alström, P. et al. (2015) Dramatic niche shifts and morphological change in two insular bird species. *The Royal Society Open Science*, 2 (3). (doi.org/10.1098/rsos.140364)
Illustrationer (målningar): Per Alström, Jon Fjeldså och Ren Hatthway



Phylloscopus soror
(Alströms bambusångare, ny art)



Phylloscopus omeiensis
(emeibambusångare,
tidigare *Phylloscopus burkii*)



Phylloscopus tephrocephalus
(gråkronad bambusångare,
tidigare *Phylloscopus burkii*)



Phylloscopus valentini
(bergbambusångare,
tidigare *Phylloscopus burkii*)

En av de mest uppseendeväckande studier jag varit involverad i gäller en liten grön, grå och rödbrun fågel som klättrar omkring på grenar och trädstammar på ön Buru i Indonesien och en annan liten brun, kortstjärtad fågel som lever i skog på ön São Tomé utanför västra Afrika. Båda dessa ansågs så unika att de placerades i släkten som bara omfattade vardera en art, den förra i släktet *Madanga* och den senare i *Amaurocichla*. Man ansåg att fågeln på ön Buru var en så kallad glasögonfågel, varav det finns många arter i andra släkten, medan man var osäker på vad fågeln på ön São Tomé var närmast släkt med, men man antog att det måste vara någon afrikansk sångare. Våra DNA-studier visade emellertid att den förra är en piplärka och den senare en ärla (som båda ingår i fågelfamiljen ärlor). Anledningen till att den som

numera heter burupiplärka och den som nu heter säotoméärla är så oerhört olika sina närmaste släktingar i utseende, vilket totalt vilselett tidigare forskare, är att de har anpassats till helt nya miljöer jämfört med sina "kusiner" och i samband med det kommit att förändras dramatiskt i nästan alla avseenden. (Se figur 3.)

Att utforska den biologiska mångfalden är inte bara spännande. Det är också en förutsättning för att vi skall förstå de komplexa ekologiska system som vi faktiskt är helt beroende av för vår egen existens! Dessutom finns en enorm, outnyttjad potential att hitta läkemedel, livsmedel och andra för oss människor värdefulla produkter. Vi behöver med andra ord satsa oerhört mycket mer resurser på att utforska – och inte minst skydda! – den biologiska mångfalden.

Figur 4. Ovan syns fyra snarlika fåglar i släktet *Phylloscopus* (lövsångare). Detta komplex klassificerades tidigare som en art. Baserat på studier av morfologi, ljud, biotop och DNA klassificeras det numera som sex arter; varav dessa fyra förekommer på samma berg i centrala Kina, men huvudsakligen segregerade höjdmässigt. Till detta släkte hör också vår egen lövsångare, Sveriges vanligaste fågel.

Foto: Per Alström

Figur 5. Flamingor (mindre flamingo till vänster) och doppingar (svarthakedopping till höger) är varandras nu levande närmaste släktingar – trots oerhört olika utseende, som utvecklats som anpassningar till olika livsstilar.

Foto: Per Alström



ARTER OCH UNDERARTER

– Vad menas med en art?

Det finns ingen allmänt accepterad definition av vad en art är. Tvärtom har otaliga forskare föreslagit olika artbegrepp. Varför är det så svårt att definiera vad en art är? Talgoxar, blåmesar, skator, rävar och älgar är ju alla otvetydigt olika arter. Men i skilda geografiska områden finns det talgoxar, blåmesar och skator som skiljer sig åt i utseende och där forskare länge tvistat om ifall de skall betraktas som olika arter eller som underarter av en och samma talgoxe-, blåmes- eller skatart. Det finns inte heller någon enhetlig definition av vad en underart är, men som regel avses en geografiskt isolerad variant, som endast skiljer sig litet i olika avseenden (oftast bara utseende) från andra underarter av samma art. Gränsen mellan olika underarter är oftast diffus, och de anses kunna föröka sig tämligen fritt med varandra.

Den sannolikt mest kända artdefinitionen, som formulerats av Ernst Mayr och som brukar kallas "det biologiska artbegreppet", definierar arter som naturligt förekommande grupper av populationer (individer) som förökar sig med varandra (eller åtminstone potentiellt har förmågan att göra det), men som är reproduktivt isolerade från andra sådana grupper. Att de är reproduktivt isolerade betyder att de antingen inte parar sig med varandra om de har möjlighet till det, eller att avkomman – om det över huvud taget blir någon sådan – har låg livsduglighet och/eller fertilitet.

De flesta av världens arter har emellertid beskrivits endast utifrån att de skiljer sig utseendemässigt från andra arter. De kan bara antas vara reproduktivt isolerade från andra, eftersom de utvecklat unika egenskaper.

I populärlitteratur och läroböcker för skolor definieras ofta arter som grupper av individer som förökar sig med varandra och kan få fertil avkomma. Självklart måste olika individer av samma art kunna få fertil avkomma, medan organismer vars hybrider är sterila naturligtvis är olika arter. Men många organismer som allmänt betraktas som distinkta arter kan få fullt fertil avkomma. Exempelvis har gräsanden konstaterats hybridisera med drygt 40 andra andararter i naturen och ytterligare ett tjugotal arter i fångenskap. Även om fertiliteten är okänd för många av dessa hybrider, så är den tveklöst god hos många andra. Faktum är att merparten av alla hybrider mellan närbesläktade fågelarter sannolikt är fullt fertila. Men de kan ändå betraktas som olika arter eftersom de som regel sällan eller aldrig parar sig med varandra i naturen. De tänder helt enkelt inte på varandra, eller så möts de aldrig under parningstiden genom att de häckar vid olika tider på året eller i olika biotoper.

Det finns många anledningar till att det är så svårt att enas om ett artbegrepp. Den viktigaste är att arter utvecklas långsamt och gradvis och att artbildningshastigheten inte är konstant mellan olika utvecklingslinjer. Följaktligen är det med nödvändighet subjektivt att avgöra när en viss organism har förändrats så mycket att den har utvecklats till en ny art, och därför finns det väldigt många organismer som befinner sig någonstans i "gränzonen" mellan att betraktas som underarter eller som olika arter. Detta är analogt med att avgöra när en viss person är ung eller gammal, smal eller tjock, barn eller vuxen. Visst kan man definiera dessa termer – till exempel att man är vuxen när man är 18 år – men det är ändå subjektivt.

RESURSER

Birds of the World
(birdsoftheworld.org)

Birdlife Sverige (birdlife.se)

I Linnés fotspår – kartläggning av fåglarnas mångfald, föreläsning med Per Alström (youtube.com)

Nya arter bildas i haven runt Sverige

Sverige har en helt unik marin miljö. Från nästan sötvatten utanför Haparanda (2–3 promille) till en nära oceanisk salthalt i norra Bohuslän (drygt 30 promille) och i havet runt Sveriges kuster bildas nya arter.

Vattnen utanför Sveriges kuster lever totalt fler än tusentalet marina arter och nästan lika många sötvattensarter, några enbart i de saltaste vattnet och andra enbart i det mest utsötade havsvattnet. Men flera arter har också brett ut sig betydligt mer än vad som kan verka rimligt. Sillen (som kallas strömming i Östersjön) är en marin fisk men finns idag ända upp i Bottniska viken. Blåstång, en marin alg, är vanlig till södra delen av Kvarnen, medan sötvattensfiskar som gädda, sik och abborre simmar i Kalmarsund.

Tidigare trodde biologerna att alla dessa anpassningar var icke-genetiska förändringar (plasticitet), som när vi blir solbrända. Man ansåg att evolutionen inte skulle kunna hinna anpassa arter till en sådan ung miljö som Östersjön som bara är 6000 år gammal. Idag visar analyser av DNA att i princip alla arter som undersökts (med ett fåtal undantag) har kraftiga genetiska förändringar. De största genetiska skillnaderna syns mellan individer som lever utanför respektive innanför Östersjöns mynning, där salthalten ändras snabbt över bara 10 mil.

Dessa genetiska skutt vittnar om att de populationer av marina arter som idag lever i Östersjön har anpassats genom evolution till Östersjöns speciella miljö. Hur kan en så snabb anpassning förklaras? Evolution anses ju vara en långsam process som tar årmiljoner i anspråk. Fast detta är bara delvis sant. Evolutionen kan vara snabb, till exempel hos organismer med väldigt kort generationstid och väldigt stora populationer (exempelvis virus och bakterier). Här uppstår nya slumpvisa mutationer så ofta att även de mer osan-

nolika mutationerna som leder till (för viruset!) fördelaktiga förändringar uppkommer ofta. Då kan viruset ändra sina egenskaper under bara några veckor eller månader.

Snabb evolution hos makroskopiska arter som ofta har generationstider runt minst ett år och inte alls så stora populationer som virus och bakterier kan ske men under andra villkor. För dessa arter kan evolutionen gå snabbt bara om de redan bär med sig genetisk variation som kan utnyttjas för anpassning till den nya miljön. Sådan genetisk variation kan "gömmas" hos individer som bär två olika anlag, där det ena anlaget fungerar bäst i den miljön som en individ härstammar ifrån, medan det andra anlaget kan vara mindre fördelaktigt i ursprungsmiljön, men istället väldigt bra i en ny miljö som individen koloniserar. De individer som bär dessa "gömda" anlag överlever då mycket lättare i den nya miljön, och efter några generationer har det tidigare ovanliga anlaget ökat i frekvens och blivit det vanligaste anlaget i populationen.

Vissa av Östersjöns arter hade oväntad genetisk variation med sig när Östersjön bildades. Detta gäller blåmusslan i Östersjön som fortfarande idag har sina närmaste släktingar i Alaska, och inte på Västkusten. Precis som Västkustens blåmusslor, så kommer Östersjöns blåmusslor från Stilla havet, men Västkustens musslor kom för miljoner år sedan, medan Östersjöns blåmusslor kom i samband med senaste istiden för bara några tiotusen år sedan. Att de just hamnade i Östersjön kanske kan förklaras av att de vandrade utefter en smältande polaris och redan på vägen hit anpassats till utsötat (och kallt) vatten.



Texten är skriven av:

Kerstin Johannesson

Kerstin Johannesson är professor i marin ekologi vid Göteborgs universitet och föreståndare för Tjörnö marina laboratorium utanför Strömstad. Hon forskar på genetisk variation hos marina arter och hur bestånd av arter klarar att anpassa sig när miljön ändras.



Figur 1 (högst upp till vänster).
Blåmussla

Foto: Benutzer:Darkone, commons.wikimedia.org, CC BY-SA-2.0

Figur 2 (ovan till vänster). Skrubbskädda

Foto: Hans Hillewaert, commons.wikimedia.org, CC BY-SA 4.0

Figur 3 (till höger). Blåstång

Foto: Stemonitis, commons.wikimedia.org, CC BY-SA-2.5

Figur 4 (nedan till vänster). Vissa arter finns i både Nordsjön och Östersjön, men skiljer sig åt genetiskt. De största genetiska skillnaderna syns mellan individer som lever utanför respektive innanför Östersjöns mynning (Öresund och de danska Bälten), där salthalten ändras snabbt över bara tio mil. Populationerna som nu lever i Östersjön har anpassats genom evolution till Östersjöns speciella miljö.

Figur 5 (nedan till höger). Kartan visar hur salthalten varierar i vattnen utanför Sveriges kust.

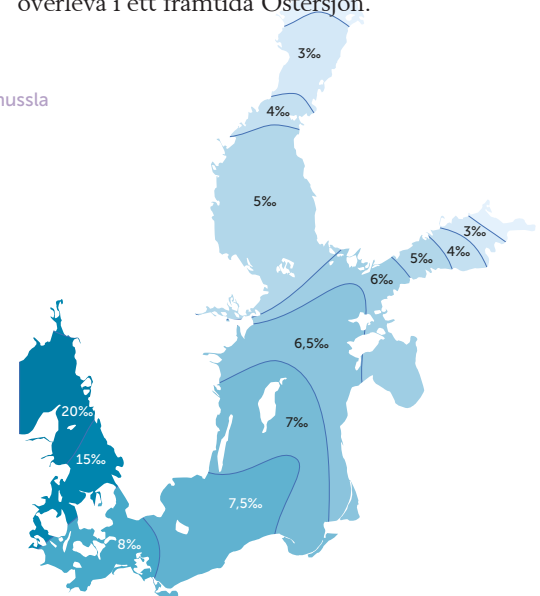
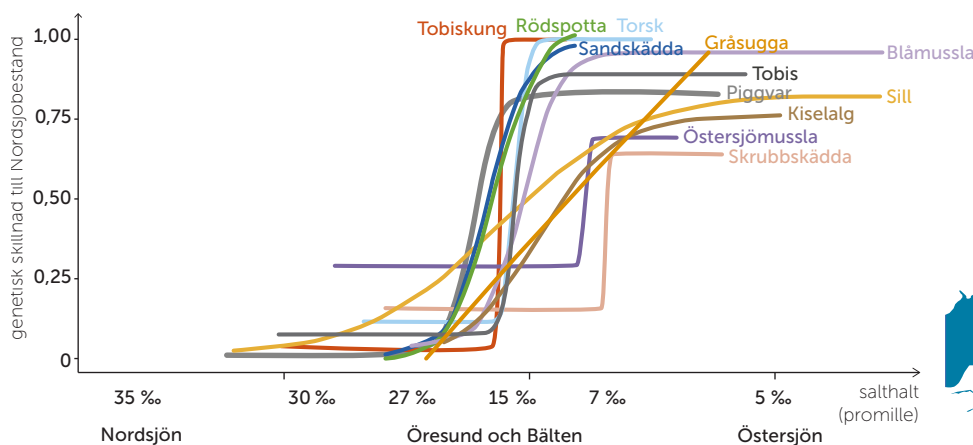
Källa (figur 4 och 5): havet.nu

Blåmusslorna i Östersjön som ofta betraktas som en egen art (*Mytilus trossulus*) är ännu inte helt olika sina avlägsna släktingar på Västkusten (*Mytilus edulis*), och de båda arterna hybridiserar kraftigt i Öresund och södra Östersjön. Hybridiseringen gynnar troligen också blåmusslornas anpassning till Östersjön eftersom de den vägen kan få in nya användbara genetiska anlag. Men några andra av Östersjöns bestånd av marina arter klarar inte längre att hybridisera med Västkustens släktingar utan har isolerats inne i Östersjön. Det kan bero på att deras anpassningar har förändrat deras reproduktion, som hos Östersjötorsken, som flyttat sin lekperiod från vårvintern till försommaren. Ett bestånd av skrubbskädda ("flundra") som leker norr om Gotland och i Finska viken lägger sina romkorn på botten istället för att de flyter i vattenmassan. Detta är en anpassning till den lägre salthalten i dessa områden. I båda dessa fall fungerar Östersjöbestånden som egna arter, eftersom de

inte längre reproducerar sig och delar gener med sina släktingar.

En annan genetisk förändring som skett i några Östersjöarter är att den könliga reproduktionen blivit mindre vanlig eller nästan upphört. Tångskogarna från Öregrund till Umeå domineras idag av en stor klon av blåstång, och ytterligare några större kloner har identifierats i Bottenhavet och längst in i Finska viken. Även Östersjöns ålgräs har stora kloner som dominerar och könlig förökning verkar vara mycket begränsad. Detta kan vara en direkt konsekvens av den låga salthalten men också en effekt av att kloner av arter kan spridas mycket snabbare än sexuellt förökande individer i en ny miljö.

Östersjöns miljö förändras idag snabbt. Uppvärmningen går mycket snabbare än ute i världshaven och salthalten minskar med ökande nederbörd. Det finns en stor risk att flera av de marina arterna i Östersjön försvinner från inte minst de norra delarna. De arter som kommer klara sig bäst är de som har stora bestånd och redan idag har anpassats till de mest extrema miljöerna. En art som kan klara sig, om vi inte fiskar för kraftigt, är sillen. Den har många lokala bestånd i Östersjön och innehåller mycket genetisk variation. För torsken, och förmodligen även för blåstången och ålgräset, är framtiden mer osvis. Torsken har bara ett känt lekområde kvar, och avsaknaden av könlig reproduktion hos blåstången och ålgräset är problematiskt. Klok och kraftfull förvaltning kommer krävas för alla dessa, och flera andra marina arter, om de ska överleva i ett framtida Östersjön.



Arbeta vidare med mångfald och evolution



Alla miljontals arter som nu finns på jorden och som har funnits någon gång tidigare under livets utveckling har uppstått genom evolutionära processer. Det är processer som ständigt pågår, och som vi kan iaktta genom att studera hur artbildningen sker i olika artgrupper. Därför börjar magasinet om biologisk mångfald med ett kapitel om sambandet mellan evolution och artdiversitet. Det är också centralt för alla olika delar av biologijämnet.

1. Tidslinjen (sida 2–3) visar hur frågor kring den biologiska mångfalden blir allt viktigare under 1900-talet och framåt.
 - De första nationalparkerna bildades 1909. Vilka var dessa? Hur många finns idag? Beskriv din närmaste nationalpark.
 - Svenska Turistföreningen bildades i slutet av 1800-talet, under en tid när intresset för svensk natur växte sig starkt och nationalromantiken uttrycktes på olika sätt. Föreningen började omgående märka ut vandringsleder och bygga upp ett nätverk av stugor i fjällen. Men antalet fjällvandrare har ökat på senare år och lett till konflikter. Vilka motstående intressen finns? Hur vill man lösa konflikterna?
2. Den biologiska mångfalden utgörs av ett oöverskådligt antal arter och det är endast möjligt att lära sig en bråkdel av de arter som hittills har beskrivits.
 - Ge några exempel på sammanhang där kunskap om arter är användbar och ibland helt nödvändig.
 - Tycker du själv att artkunskap är viktigt? Motivera.
3. Arter förändras, men med olika hastighet.
 - Ge exempel på organismgrupper där evolutionära förändringar sker snabbt respektive långsamt. Vilka är orsakerna till att hastigheten varierar?
 - I ett evolutionärt perspektiv: Varför kan det vara svårt att skilja ut en art från en närstående liknande art?
4. Isolerade öar är evolutionära laboratorier, exempelvis Madagaskar och Galapagosöarna.
 - Beskriv hur artbildning kan gå till med utgångspunkt i en isolerad ö.
 - Stora alvaret på Öland är en mycket speciell miljö med flera ovanliga arter; varav några är endemiska. Vad beror det på att det har utvecklats endemiska arter i denna miljö? Ge exempel på två sådana arter.
5. I Östersjön har det skett en evolution av arter under en förhållandevis kort tid.
 - Varför förändras många arter i Östersjön så snabbt och skiljer sig från närstående arter i Västerhavet?
 - Vissa arter finns både i Östersjön och i Västerhavet. Vilka skillnader finns mellan populationer av torsk, skrubbskädda och blåstång i Östersjön respektive Västerhavet?
6. Om man jämför utdöendet av arter inom grupper av ryggradsdjur är skillnaderna stora. Sämst verkar det gå för amfibier medan fiskar ser ut att klara sig bättre.
 - Vad kan ligga bakom dessa skillnader (figur 1, sida 8)?
 - Hur många arter av groddjur hotas av klimatförändringar respektive intensifierat jordbruk i Sverige eller globalt? Använd sökfiter i Artfakta (artfakta.se) eller i den internationella rödlistan (The International Union for Conservation of Nature (IUCN), www.iucnredlist.org) för att ta reda på svaret.
7. Vilka egenskaper och kriterier används för att särskilja en fågelart från en annan?
8. Hur går det till när man ger namn till en ny art?
9. Biodiversitetshotspots är områden med mycket hög biologisk mångfald.
 - Vilka är fördelarna och nackdelarna om naturskyddande åtgärder fokuseras till dessa områden?
 - Även om kartan på sidan 10 inte visar några biodiversitetshotspots i Sverige, finns det miljöer som är mycket artrika, till exempel ängsmarker, som hävdats genom slätter under lång tid, och barruskogar. Förklara varför dessa miljöer har så stor biologisk mångfald.
10. På Bioresurs webbplats, under Släktskap och systematik finns övning om evolutionära träd och nya uppgifter till KVAs skrift *Vetenskapen säger – Om biologisk mångfald och evolution*. Under Evolutionens mekanismer finns exempelvis förslag på simuleringar av naturligt urval.

FLER RESURSER

Eide, W. m.fl. (red.) (2020). *Tillstånd och trender för arter och deras livsmiljöer – rödlistade arter i Sverige 2020*. SLU Artdatabanken, Uppsala (artdatabanken.se)

International Barcode of Life Consortium (ibol.org) Kungl. Vetenskapsakademien. (2023). *Vetenskapen säger – om biologisk mångfald och evolution*, nr 4 (kva.se)