



# HAVSUTSIKT

OM HAVSMILJÖN OCH SVENSK HAVSFORSKNING

**Nr 1 | 2021**

## **Alger och tång**

Alger banar väg för framtiden

Lena Kautsky – en karriär bland tång

Östersjön – Sveriges Galapagos





Det tar ju ett tag att vänja sig vid Östersjövatten!

FOTO: SKRUBBSKÄDDA/VON THT HUNT/CC BY-SA 3.0

## INNEHÅLL



4

12

Alger banar väg för en grönare framtid .....	3
En lång karriär bland tånggruskorna .....	6
Samspel i mikrobernas värld .....	9
Tusenårigt perspektiv på övergödning .....	12
Robotar undersöker havets botten.....	14
Östersjön – vårt svenska Galapagos.....	16
En förorenande följetång.....	20
Notiser & recensioner .....	22
Art i fokus: Smaltång .....	24



Mumintriolet dök in i en stor våg som solen sken rakt igenom. Först såg han bara gröna bubblor av ljus, sen såg han skogar av tång som gungade över sanden. Den var fint friserad och prydd med snäckskal, skära inuti och vita utanpå. Längre utåt mörknade vattnet mot ett svart hål som gick ner mot det bottenlösa. Då vände han om, sköt rakt upp i en våg och följde med den in till stranden igen.

UR KOMETEN KOMMER AV TOVE JANSSON

FOTO: SEAGOR/FIXARBY

## HAVSUTSIKT

**HAVSUTSIKT** ges ut av Stockholms universitet, Umeå universitet och Göteborgs universitet inom samarbetet Havsmiljöinstitutet. Fokus ligger på forskning om havet och havsmiljön, och artiklarna skrivs mestadels av forskare vid de svenska lärosätena. Havsutsiikt utkommer med två nummer per år.

### REDAKTION

Kristina Viklund, huvudredaktör  
kristina.viklund@umu.se  
Umeå universitet  
090-786 79 73

Övriga redaktörer: se webben  
[www.havet.nu/havsutsikt](http://www.havet.nu/havsutsikt)

### REDAKTIONSRÅD

Tina Elfving, Stockholms universitet  
Carl Rolff, Stockholms universitet  
Jan Albertsson, Umeå universitet  
Jonas Nilsson, Linnéuniversitetet  
Susanne Pihl Baden, Göteborgs universitet  
Ulf Bergström, Sveriges lantbruksuniversitet

### PRENUMERATION

Kontakta redaktionen,  
[havsutsikt@havet.nu](mailto:havsutsikt@havet.nu), eller anmäl på  
[www.havet.nu/havsutsikt](http://www.havet.nu/havsutsikt), gäller även  
adressändring. Att prenumerera är gratis.

### GRAFISK FORM & ORIGINAL:

Maria Lewander/Grön idé

### OMSLAGSFOTO:

Sophie Steinhagen

ISSN 1104-0513

TRYCK Grafiska Punkten, juni 2021.

UPPLAGA: 11 000 ex.

PAPPER: Arctic Volume,  
115 och 170 g (FSC-märkt).



Havsutsikt finns även digitalt på  
[www.havet.nu/havsutsikt](http://www.havet.nu/havsutsikt)  
Där finns också en del extramaterial  
och fler lästips.




UMEÅ UNIVERSITET



Stockholms  
universitet



GÖTEBORGS  
UNIVERSITET

 Havsmiljöinstitutet





Alger banar  
väg för en

# GRÖNARE FRAMTID

*Tänker du på alger som något slemmigt i strandkanten? Då kan den här artikeln ge dig nya perspektiv. Det som kittlar dina fötter när du badar är en outnyttjad resurs som forskarna tror kan bidra till en mer hållbar framtid.*



Odlingspotentialen hos olika algar studeras i ett "algväxthus".



**K**osterfjordens vågor rullar försiktigt mot båten. Det är tidig februarimorgon, luften är iskall och fjordarna fortfarande delvis frusna.

– Våra alger klarar det kalla vädret bra och börjar växa ännu bättre nu när dagarna blir längre, säger Sophie Steinhagen, forskare vid Tjärnö marina laboratorium, och håller upp några unga, smaragdgröna plantor av havssallat.

Stora alger och vattenväxter av olika slag är livsmiljöer för ryggradslösa djur och fungerar som barnkammare för många fiskarter. Men de är inte bara viktiga för havsmiljön utan spelar också en viktig roll i den globala kolcykeln, eftersom plantorna binder stora mängder kol. Nu ökar också intresset för att använda alger som livsmedel och inom industrin.

Vi befinner oss vid en anlagd havsträdgård i Kosterhavet på svenska västkusten. Nere i det turkosblå vattnet växer havssallat, en grönalg som verkligen ser ut som sallad med sina gröna veckade blad. Plantorna växer från rep, som hålls på plats av flytbojar.

– Den här arten, *Ulva fenestrata*, planteras på senhösten. Den växer sedan hela vintern och skördas på våren, berättar Sophie.

Tillsammans med kollegan Gunnar Cervin är hon ute för att kontrollera tillväxten i ett experiment med storskalig odling av grönalger inom släktet *Ulva*. Experimentet ingår i ett samarbete med forskare från Chalmers tekniska högskola och KTH. Algodlingen är idag Sveriges största, och forskarnas mål är att hitta nya, hållbara och förnybara naturresurser.

### Många användningsområden

Havssallat och andra *Ulva*-arter växer snabbt och kan rymma svar på de stora frågor som jordens befolkning just nu står inför, menar Sophie. Till exempel: hur kan vi utöka jordbruksproduktionen



Den anlagda algodlingen i Kosterhavet är Sveriges största. Här har forskarna planterat två hektar havssallat och skräppetare (sockertång), för att undersöka möjligheterna att använda algerna som livsmedel och i industrin.

när markutrymmet är begränsat? Hur kan vi på ett hållbart sätt nyttja nya resurser för att råda bot på den rådande resursbristen? Och hur kan vi föda en växande världsbefolkning?

Alger konkurrerar inte med andra grödor om åkermark eller sötvatten. De kan också ta upp näringsämnen från havet och är därför inte beroende av gödsel. Samtidigt bidrar algerna till att rena havet när de tar upp kväve, fosfat och kol från övergödda vatten och omvandlar till ny biomassa.

Vattenbruk i havet anses vara den mest hållbara formen av vattenbruk. Eftersom algerna som odlas i Kosterhavet har många möjliga användningsområden, bland annat inom industrin, tror forskarna att de kan vara en viktig hörnsten i en grönare framtid.

– Våra experiment visar att storskalig odling av grönalger som havssallat är möjlig i svenska vatten, och att biomassan kan användas i ekonomiskt viktiga branscher. Biomassan kan till exempel användas som beståndsdel i läkemedel

och som nya byggmaterial. Den är också ett hälsosamt livsmedel eftersom den innehåller lämpliga proteiner och fettsyror, säger Sophie.

### Stor potential som livsmedel

I Asien finns en lång tradition av att äta olika typer av alger. Med sin forskning vill Sophie och hennes kolleger visa vägen för en hållbar produktion även i Sverige. Tillsammans med forskarna på Chalmers har de undersökt hur väl vi människor kan ta upp de proteiner som finns i algerna.

– Resultaten är väldigt positiva. Den svenska havssallaten visade sig vara både näringsrik och hälsosam, berättar Sophie.

För att nå även de människor som är tveksamma till att äta "rå" havssallat undersöker forskarna också möjligheterna att utvinna algproteinerna för att kunna använda dem i till exempel hamburgare, smoothies eller proteinbars. På så vis hoppas forskarna ge detta miljövänliga veganska livsmedel ett uppsving.



Algodlingar erbjuder så många goda möjligheter.

Forskaren Sophie Steinhagen ser alger som en underanvänd resurs med stora möjligheter både som livsmedel och i olika typer av industri.



FOTO: SAMANTA HOFFMANN

## Höga kostnader för arbetskraft

Dagens algodlingar är förknippade med höga kostnader för arbetskraft. Om den här typen av livsmedelsproduktion ska bli lönsam i framtiden behöver mekaniseringen öka och odlingarna skalas upp, bedömer Sophie. När det gäller odlingar i Sverige blir det samtidigt viktigt att välja sådana arter som trivs i skandinaviska förhållanden.

– Som forskare är jag intresserad av att utforska mångfalden av alger och utnyttja svenska, naturligt förekommande arter, säger Sophie.

Alger i *Ulva*-släktet finns längs stora delar av Sveriges kust – från de steniga stränderna på svenska västkusten till sandstränderna i södra delen av det bräckta Östersjön. De är generalister, som kan klara olika och även växlande miljöförhållanden, berättar Sophie som nu ska

undersöka hur odlingspotentialen skiljer sig åt mellan olika arter.

– Det handlar om att testa deras biokemiska profiler och ta reda på om olika arter kräver olika odlingsmetoder.

## Odling i växthus ger svar

För att studera vattenbrukspotentialen hos olika arter har forskarna satt upp ett ”alghus” vid strandkanten utanför Tjärnölaboratoriet. Genom att förändra temperaturen, ljusintensiteten och näringstillförseln i växthuset får forskarna kunskap om hur olika alger trivs och växer i olika förhållanden. På så sätt kan man få svar på hur man ska få störst avkastning av skörden eller hur man kan optimera mängden protein.

– Algodlingar erbjuder så många goda möjligheter för samhället och för industrin, både lokalt och globalt, och har

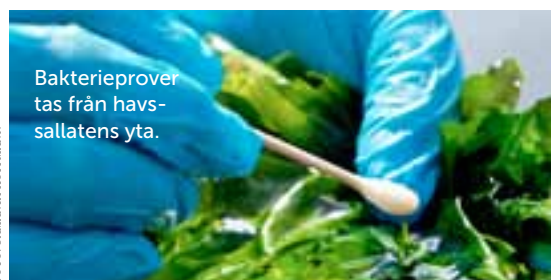


FOTO: SAMANTA HOFFMANN

Bakterieprovetas från havssallatens yta.

samtidigt så positiva effekter på miljön. För mig handlar det om hur vi ska forma en mer ansvarsfull, hållbar och grönare framtid för vår egen och våra barns skull, säger Sophie. 🌱

## TEXT OCH KONTAKT

Text: Samanta Hoffmann

Kontakt: Sophie Steinhagen, Tjärnö marina laboratorium, Institutionen för marina vetenskaper, Göteborgs universitet, sophie.steinhagen@gu.se

## I ALGERNAS VÄRLD

Till **alger** räknas många olika organismer, allt från små frilevande växtplankton till fastsittande stora brunalger. Däremot räknas inte kärlväxter som ålgräs och vass, som har blommor och ofta rotar sig i mjuka bottenar, som alger.

**Ulva** är ett släkte bland grönalger med 9–12 olika arter. Havssallat, *Ulva fenestrata* är en av dem. Havssallat växer i grunda vatten längs stränderna världen över och går att äta.

**Tång** (på engelska seaweed) är ett vardagligt samlingsnamn på stora vattenlevande alger, ofta brunalger och rödalger, men även grönalger som havssallat.

**Vattenbruk** (eller akvakultur) är ett begrepp för när människan odlar i vatten, i havet eller i bassänger. Odling av såväl alger som fisk och skaldjur räknas som vattenbruk.

De naturligt förekommande algträdgårdarna i Koster's skärgård sprakar av färg och form.

FOTO: SOPHIE STEINHAGEN



# En lång karriär bland tånggruskorna

*Östersjöns tångbälten ruvar på spännande historier om livet i havet, och när man väl börjat undersöka dem är det svårt att sluta. Det vet Lena Kautsky, professorn som ägnat större delen av sitt liv åt tången.*

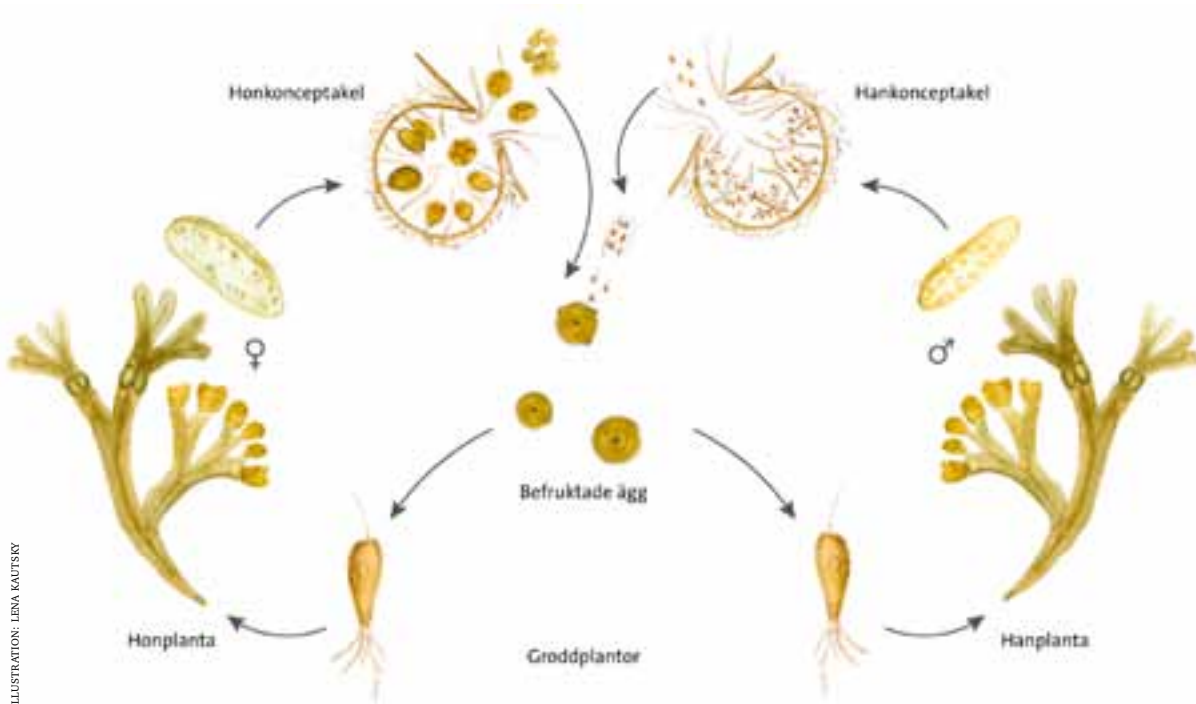
**U**nder några stilla fullmånekvällar på försommaren släpper tångplantorna i Östersjöns vikar ut miljarder ägg och spermier. Själva tidpunkten är ett märkligt fenomen – trots att inget tidvatten finns i Östersjön så styrs svärmningen av månens dragningskraft. Lena Kautsky minns fortfarande hur den fascinerande upptäckten gick till.

– Som mycket annat inom forskningen var det en slump. Det var en av mina doktorander, Sylvia Andersson, som i början på 90-talet skulle forska på hur giftiga båtbottnfärger påverkade blåstångens förökning i Östersjön. Hon hade ställt i ordning ett experiment i laboratoriet, men ingenting av resultaten stämde överens med litteraturen. De delar av tången som kallas förökningstoppar

Lena Kautsky i sitt favorithabitat.







Blåstångens livscykel har sysselsatt Lena under stora delar av hennes yrkesliv. Hon gjorde banbrytande upptäckter kring hur tången förökar sig. Plantorna släpper ut miljardier ägg och spermier när månen är full. De fastnar på plantornas receptakel där befruktning sker. Äggen bildar sedan han- eller honplantor.



torkades av för att efterlikna torrläggningen vid ebb, men Sylvia märkte att de bara släppte ut ägg och spermier vissa dagar. Vi satte oss ner och tittade i kalendern, och det enda sambandet vi kunde hitta var att svärmningen sammanföll med full- och nymåne, berättar Lena, eller Tant Tång som hon också kallas. Alla som känner henne förstår varför.

Hon har ägnat en stor del av sitt liv åt att studera blåstången och dess viktiga habitat i Östersjön. Idag är hon professor emeritus vid Institutionen för ekologi, miljö och botanik vid Stockholms universitet. Hon delar gärna med sig av kunskapen hon samlat på sig under en lång forskarkarriär, som den om blåstångens mystiska kärleksliv.

Månens dragningskraft på tångplantorna är alltså så stark att den till och med påverkar exemplar intagna på laboratorium. Upptäckten kompletterades med fältstudier där det tydligt gick att se synkroniseringen med måncykeln.

– Det enda som kan få blåstången i Östersjön att bryta cykeln är blåst. Om vattnet är vågigt vid fullmåne så väntar hon- och hanplantorna några dagar med att släppa ut sina ägg och spermier. Lugnt vatten är viktigt för att de befruktade äggcellerna ska kunna sjunka ner till botten och få fäste.

### Tången minskar

Sådana speciella ögonblick, när man upptäcker något som ingen tidigare känt till, har alltid varit en stark drivkraft för Lena Kautsky. En annan är att få göra något som faktiskt får användning ute i

samhället.

– Som när vår forskning kring båtbotenfärgers effekter på tångens förökning bidrog till förbudet mot kopparbaserad bottenfärg längs den svenska Östersjö-kusten, säger Lena.

Blåstången är nämligen inte bara en fascinerande art, den fyller även en viktig ekologisk funktion i Östersjön.

– Tångbältet är Östersjöns skogar, här myllrar det av små kräftdjur och snäckor. Även av musslor, mossdjur, havstulpaner och andra alger som brukar sitta fast på tången, säger Lena och ger en lite dyster lägesbeskrivning: Tången utgör ett nyckelhabitat i vårt känsliga innohav, och forskning visar att över hälften av alla arter i Östersjön passerar tångbältet under något skede i livet. Men tångens utbredning har minskat med åren, på grund av föroreningar och övergödning, vilket till exempel har ökat påväxten av fintrådiga alger som skuggar tången.

### Uppslukande projekt

Lenas intresse för vattenmiljön började tidigt. Efter studentexamen läste hon kemi, botanik och zoologi på Stockholms universitet, och fortsatte sedan med doktorandstudier. Forskningen innebar att följa hur Brunnsviken återhämtade sig efter att Solna slutade släppa ut sitt orenade avloppsvatten där 1970. Lena blev helt uppslukad av projektet.

– På hösten '72 föddes min dotter och då missade jag faktiskt en provtagning. Vanligtvis åkte jag ut med båt var fjortonde dag och tog vattenprover för att analysera näringsämnen och växtplankton.

Om man då lägger i sin nymålade båt och ankrar upp i en fin vik en lugn månskenskväll är risken stor att tångens förökning kommer att misslyckas.

Lena iklädd egen-tillverkad tånghatt.



## LENA KAUTSKY

Ålder: 75 år

Bor: Rådmansö i Stockholms norra skärgård tillsammans med maken Nils.

Gör: Professor emeritus vid Institutionen för ekologi, miljö och botanik på Stockholms universitet. Tidigare föreståndare på Stockholms universitets marina forskningscentrum, nuvarande Östersjöcentrum.

Aktuell: Handboken *Restaurering av blåstångssamhället i Östersjön* går att ladda ner gratis på Östersjöcentrums hemsida. Förutom intressanta fakta om tångens biologi innehåller den även pedagogiska beskrivningar på hur man kan plantera blåstång i havet. Lena driver även *Tångbloggen* – [www.tangbloggen.com](http://www.tangbloggen.com).

## GAV NAMN ÅT BLÅSTÅNGENS YNGRE SLÄKTING

Bland Lena Kautskys mer ärofyllda meriter kan nämnas att hon tillsammans med sin kollega Lena Bergström fått namnge en helt ny tångart – *Fucus radicans*, eller smaltång som den heter på svenska. Längre trodde man att detta var en mindre variant av blåstång, men år 2005 kunde de tack vara de nya genetiska verktygen visa att smaltången är en egen art och ge den sitt latinska namn. Du kan läsa mer om smaltång på sista sidan i denna tidning.

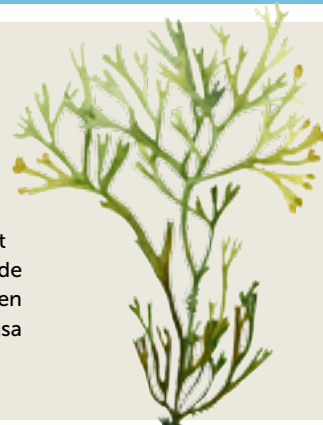


ILLUSTRATION: LENA KAUTSKY/AZOTE

Tittar man på kurvan i efterhand ser man att det finns en tydlig lucka där. Sen fick hon följa med i båten.

Du åkte alltså ut och tog vattenprover som nybliven mamma med spädbarnet i båten?

–Ja, så var det. När bebisen var liten gick det bra, jag upptäckte också att labb-bänken på universitetet hade precis lagom höjd för att köra in barnvagnen under. Det var det nog inte så många som hade tänkt på innan!

### Aldrig mer växtplankton

När det var dags att disputera i slutet av 70-talet var Lena höggravid med sitt andra barn och kände att hon var redo för något nytt. Avhandlingen var klar, hon fick sin doktorsexamen och lovade sig själv att aldrig mer räkna växtplanktonprover. Men hon ville inte lämna vattenmiljön.

–Jag fick forskningsmedel och började undersöka hur rotade vattenväxter tar upp olika tungmetaller. Framför allt var jag intresserad av hur tungmetallerna sprids uppåt i den marina näringskedjan.

Det ledde vidare till forskning kring giftiga båtbottnfärger, där ju blåstångens förökningsmekanismer i Östersjön upptäcktes. Vilket i sin tur resulterade i många års studier av tångens ekologi.

–Blåstången i Östersjön har tre tillfällen på sig för en lyckad reproduktion om året, fullmånen i slutet av maj, nymånen i juni och nästa fullmåne vid midsommar. Om man då lägger i sin nymålade båt och ankrar upp i en fin vik en lugn månskenskväll är risken stor att tångens förökning kommer att misslyckas, säger Lena.

### När Lena blev Tant Tång

Det är ingen överdrift att säga att hon brinner för tången. Epitetet Tant Tång började som ett skämt när Lena var föreståndare på Stockholms universitets marina forskningscentrum, nuvarande Östersjöcentrum.

–Vi var några som satt och pratade en kväll om vad vi skulle vilja bli ihågkomna för. Då slank det ur mig att jag skulle vilja bli ihågkommen som Tant Tång. Det där var det någon av kommunikatörer-

na som snappade upp, och sedan har det hängt med.

Ingenting tyder på att hon tänker lägga av sig namnet. Tant Tång är idag 75 år och tillbringar så mycket tid som möjligt tillsammans med sin make på Rådmansö i Stockholms norra skärgård. Men något stillsamt pensionärsliv är det inte frågan om. Hennes senaste större arbete är en handbok om att restaurera blåstång i områden där den minskat eller försvunnit. Den skrevs tillsammans med två forskarkollegor från Stockholms universitet, och vänder sig till länsstyrelser, organisationer och privatpersoner som vill försöka återplantera blåstång i Östersjön. En stor del av tiden går också till att driva Tångbloggen där Lena skriver populärvetenskapligt om "allt du inte visste att du ville veta om blåstång och lite till". ?

### TEXT

Lydia Källberg Normark, marinbiolog och frilansskribent



*I naturen pågår en ständig kamp om begränsade resurser. Men här finns också överraskande samarbeten mellan de organismer som befinner sig längst ner i näringskedjan – alger och bakterier. Genom att förändra artsammansättningar och fördela knappa resurser mellan sig kan de fungera som ett samhälle, med bibehållen produktion trots att förhållandena radikalt förändras.*

# Samspel i mikrobernas värld



**D**et pågår ofta en hård kamp i naturen mellan olika organismer om de begränsade resurser som finns. Det kan till exempel vara konkurrens om utrymme, ljus och näring. Men forskare vid Linnéuniversitetet har hittat ett oväntat fenomen i de allra lägsta nivåerna av näringskedjan – alger och bakterier som faktiskt samarbetar istället för att konkurrera med varandra. Vissa alger och bakterier verkar ha ömsesidig nytta


av varandra och kan dela upp både kolhydrater och andra näringsämnen mellan sig.

### **Alger väljer sina bakterier**

För att undersöka hur algerna och bakterierna förhåller sig till varandra gjordes noggrant styrda försök i odlingar både i mindre skala på laboratoriet och i större skala utomhus. Två olika släkter av alger användes i försöken; dinoflagellaten *Alexandrium* och grönalgen *Mychonastes*. *Alexandrium* orsakar ofta giftiga algblom-

ningar i övergödda vatten, och är därför viktig att ha kunskap om. Målet var att ta reda på vilka typer av bakterier som förekom tillsammans med de olika arterna av alger och hur algerna och bakterierna samspelade. Salthalt och temperatur varierades i försöken, för att se om detta påverkade vilka samhällen som uppstod.

De arter av *Alexandrium* som användes i försöken på laboratoriet hade sitt ursprung både i Östersjön och i Medelhavet, två havsområden med vitt skilda förhållanden vad gäller exempelvis



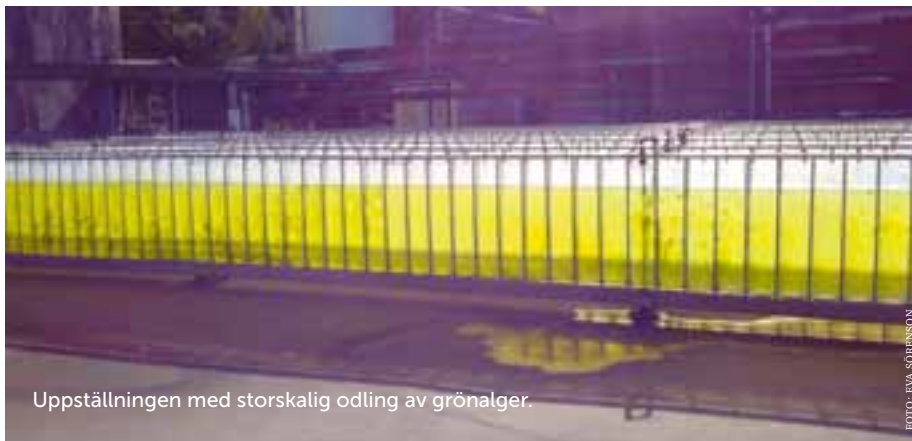
Det som först tycks vara en grumlig soppa visar sig vara ett finstämt samspel mellan organismer längst ner i havets näringskedja. Bilden visar en kraftig blomning av dinoflagellaten *Alexandrium ostenfeldii*.





Närbild av *Alexandrium* sp. fotograferad i mikroskop.

FOTO: ANNI-FIURI SIKSIVIK/SMEI



Uppställningen med storskalig odling av grönalger.

FOTO: EVA SÖRENSON



Grönalgen *Mychonastes* odlades för att ta reda på hur de och "deras" bakterier reagerade på snabba temperaturväxlingar.

FOTO: EVA SÖRENSON

vattnets salthalt. Arterna odlades åtskilda från varandra i varierande salthalter. När försöken var över hade olika varianter av bakterier växt till tillsammans med de olika arterna av *Alexandrium*. En viss sorts alg föredrog en viss sorts bakterier, oavsett om de fysikaliska förhållandena varierade. Det verkade faktiskt som om algerna "valt" en viss grupp av bakterier att leva ihop med.

### Finstämt samarbete

Forskarna ville även undersöka hur motståndskraftigt detta nyupptäckta samspel är mot förändringar i miljön. Här användes grönalgen *Mychonastes*, odlad utomhus, som utsattes för sjunkande temperaturer när sommar övergick till höst. Samhället med alger och bakterier klarade sig väl när temperaturen förändrades. Trogligtvis utfördes en balansakt där förhållandena dem emellan förändrades när temperaturen ändrades, samtidigt som det totala antalet organismer bibehölls. Somliga arter ersattes helt enkelt av andra, bättre anpassade arter.

Försöksstudierna kompletterades med undersökningar i fält i havsområdet runt Åland. I detta havsområde finns ett överflöd av organiska kolämnen, men en brist på tillgängliga former av kväve och fosfor. Även här upptäcktes ett samarbete mellan algerna och bakterierna. I stället

för att tävla med varandra om kol, kväve och fosfor, kunde de dela upp dessa resurser mellan sig på ett sätt som inte tidigare observerats.

### Fungerar som ett samhälle

Mikroorganismerna i de studerade algbakteriesamhällena kunde alltså aktivt anpassa antalet arter och vilka arter som förekom vid olika temperaturer. Dessa anpassningar syntes hos både alger och bakterier. Studierna pekar alltså på att bakterier och alger interagerar och tillsammans fungerar som ett samhälle. Olika funktioner som är viktiga för hela samhället kan i vissa fall utföras av antingen den ena eller den andra gruppen. Om exempelvis förmågan att ta upp koldioxid minskar i den ena gruppen kan den andra gruppen utöka upptaget av koldioxid. Detta kan vara en mekanism som gör att samhället som helhet kan reglera upptaget av koldioxid. På det sättet kan samhället bli mer motståndskraftigt mot förändrade temperaturförhållanden.

### Viktig Östersjökunskap

Kunskapen om hur alger och bakterier samverkar kring tillgängliga resurser är mycket viktig för att vi bättre ska förstå hur Östersjöns algsamhällen ändras när förhållandena i havet förändras. Det sät-

ter nytt ljus på hur vi ska hantera de speciella förhållanden som råder i Östersjön, med övergödningsproblem som ger överskott av näringsämnen och klimatförändringar som ger ökande temperaturer och förändrade salthalter. ?

### TEXT OCH KONTAKT:

Eva Sörenson och Catherine Legrand, Institutionen för biologi och miljö, Linnéuniversitetet

catherine.legrand@lnu.se

### VIKTIGA AKTÖRER I HAVET

Man kanske tänker sig att fiskar, sälar och jättestora valar utgör största delen av den levande materia som finns i havet. Men det stämmer inte. Hela sjuttio procent utgörs nämligen av organismer som är så små att man inte kan se dem med blotta ögat – bakterier och alger. Bakterier finns i stor mängd i alla marina ekosystem, där de som nedbrytare av organiskt material spelar en avgörande roll när det gäller reglering av energiflödet och näringsämnenas kretslopp. Algerna kan ta upp koldioxid från luften och av det producera syre och organiskt material. Man kan därför säga att både bakterier och alger spelar huvudroller i havens ekosystem.



# Östersjöns övergödning i ett tusenårigt perspektiv



Mikroskopbild av epifytiska kiselalger av släktena *Cocconeis* och *Rhoicosphenia* som växer på en grönalga.

FOTO: LEVA NGRBÄCK THARSSON

*Övergödningen av Östersjön under 1900-talet är väldokumenterad och har resulterat i bland annat sämre siktdjup, omfattande cyanobakterieblomningar och utbredd syrebrist i bottenvatten. Det gjordes inte systematiska mätningar av miljötillståndet i Östersjön före 1960-talet, och därför vet vi inte mycket om hur ekosystemet förändrades av människans tidiga påverkan. Sedimentkärnor fungerar som historiska arkiv, och kan ge oss en bild av vad som hände.*

**I** min avhandling har jag tillsammans med mina medförfattare undersökt historiska miljöförändringar i Östersjöns kustområde. Vi ville fördjupa förståelsen för vad aktiviteter på land, till exempel jordbruk, ger för konsekvenser för havsmiljön. Sedimentkärnor från botten fungerar som ett historiskt arkiv. I dessa finns fossil av kiselalger, och artsammansättningen av dem kan berätta hur miljön såg ut när de levde. Genom att studera sedimenten i kustzonen har vi spårat de första tecknen av mänsklig påverkan och övergödning till slutet av 1700-talet.

## Vad kiselalgerna kan berätta

Artsammansättningen av kiselalger i våra prover visar på stabila förhållanden från ca 2000 år sedan fram till 1700-tal. Under denna långa period var andelen kiselalger som lever på andra alger, så kallade epifyter, stor. Detta tyder på en stor utbredning av makroalger såsom exempelvis blåstång och grönslick. De första tecknen på övergödning är från slutet av 1700-talet, och i början av 1800-talet är

artsammansättningen av kiselalger redan förändrad. Vad som följer är en försämrad vattenkvalitet med dramatiska förändringar i kiselalgsfloran. Ett försämrat siktdjup begränsar utbredningen av bottenlevande arter och många epifytiska arter minskar drastiskt. Samtidigt ser vi en ökning av runda små frilevande kiselalger, vilket är ett typiskt tecken på övergödning. Andra tecken på övergödning är en minskad artdiversitet av kiselalger samtidigt som koncentrationen av kiselalger i sedimenten ökar. Förändringar i isotopsammansättningen av kväve tyder på en ökad tillförsel av näring från land, från gödsel och latrinavfall.

Undersökningsplatserna är påverkade av den storskaliga förändring i markanvändning som skedde under 1800-talet och fortsatte in på 1900-talet. Jordbruk med ängar och traditionell träda av jordbruksmark fasades ut till förmån för vallodling med gödsel. Våtmarker och sjöar dikades ut, vilket gjorde att landskapet till stor del förlorade sin naturliga förmåga att filtrera bort näringsämnen. I slutet av 1800-talet introducerades konst-



gödsel, även om användningen inte tog ordentlig fart förrän efter andra världskriget. Växande städer, industrier och reningsverk är punktkällor som i varierande grad har påverkat undersökningsområdena.

## Koppling mellan kust och hav

För att fördjupa förståelsen för hur samspillet mellan Östersjöns kustzon och öppna havet sett ut historiskt har vi jämfört resultaten från kustzonen med resultat från en sedimentkärna tagen i öppna Östersjön. Våra resultat visar att i öppna Östersjön har både klimat och näringsstillförsel från land påverkat artsammansättningen av kiselalger de senaste 2000 åren. I kustområdet däremot har de direkta effekterna av klimatet spelat en mindre roll, och artsammansättningen av kiselalger har främst varit påverkad av näringsstillförsel från land.

Ett spännande resultat av denna jämförelse mellan kust och öppet hav är att effekterna av övergödningen syns mer än 100 år tidigare i kustzonen än i öppna Östersjön. Detta belyser hur viktig roll kusten har som en buffertzon för öppna Östersjön. Tidigare studier har visat att skärgården är särskilt effektiv som näringsfilter.

## 200 år av mänsklig påverkan

EU:s vattendirektiv från år 2000 har som syfte att alla vatten i EU ska uppnå god

ekologisk status. Att definiera vad god ekologisk status innebär ska helst ske med hjälp av referensområden. Men i Östersjön finns inga opåverkade områden kvar, och alltså inga referensområden för att definiera referensvärden enligt EU:s vattendirektiv. Vi är därmed hänvisade till andra metoder som modellering och historiska rekonstruktioner av ekosystem.

Våra resultat visar att i flera av de undersökta kustområdena rådde ett miljötillstånd opåverkat av mänsklig aktivitet för mer än 200 år sedan. Maximal tillförsel av näring till Östersjön skedde under 1960–70-talet, vilket avspeglar sig i koncentrationen av kiselalger i sedimenten, något som kan användas som en referens för primärproduktion. Lägre koncentrationer av kiselalger i sedimenten de senaste årtiondena indikerar en bättre vattenkvalitet. Däremot syns ännu ingen förbättring i artsammansättning av kiselalger som indikerar en tillbakagång till referensvärden.

Resultaten visar hur viktigt det kan vara att ha ett långt tidsperspektiv i miljöfrågor. Och för att kunna modellera och förutspå vad som ska hända i framtiden måste vi titta bakåt, långt bakåt. ?

### TEXT OCH KONTAKT:

Lena Norbäck Ivarsson, Institutionen för naturvetenskap, miljö och teknik, Södertörns högskola, lena.norback.ivarsson@sh.se



Den tre meter långa kolvlovsprovtagaren är redo för att ta ett sedimentprov från havsbotten i Stockholms skärgård.

### LÄS MER:

Lena Norbäck Ivarssons avhandling: Tracing environmental change and human impact as recorded in sediments from coastal areas of the northwestern Baltic Proper

## KISELALGER FIXAR SYRET



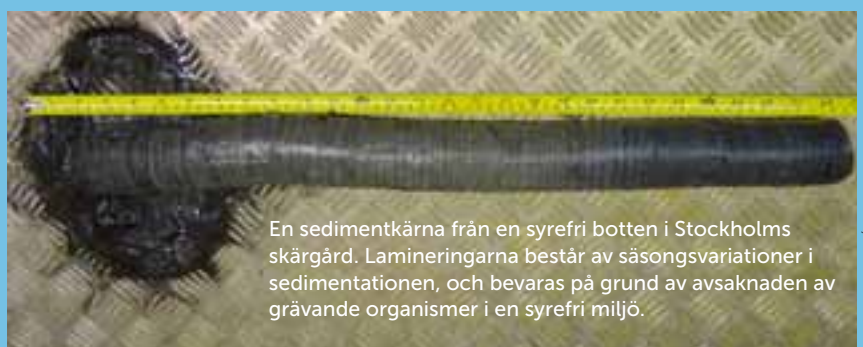
Visste du att du kan tacka kiselalgerna för vart femte andetag du tar? Uppskattningsvis producerar nämligen kiselalger en femtedel av jordens syre. Kiselalger är encelliga alger som finns nästan överallt där det finns vatten, både i hav och sjöar. De lever antingen fritt i vattnet, som plankton, eller fastsittande på ett underlag, tex på sten, sandkorn, makroalger, på båtar och till och med på havssköldpaddor.

Artsammansättningen av kiselalger är väldigt känslig för förändringar i miljön, och kiselalger används därför flitigt inom miljöövervakningen. Tack vare att kiselalgens cellvägg består av kisel kan de bevaras som fossil i sediment, och på så sätt lagras information om historiska miljöförändringar. Förutom all nytta kiselalger bidrar med är de också otroligt vackra att studera.

FOTO: LENA NORBÄCK IVARSSON/THALASSIOSIRA BALTICA

## SEDIMENTKÄRNOR SOM NATURLIGA ARKIV

För att studera historisk miljöpåverkan i Östersjöns kustzon har sedimentkärnor från bottenarna på fem undersökningsplatser analyserats. Undersökningsplatserna ligger längs med svenska sydostkusten, från Stockholms skärgård i norr till Gås fjärden i Kalmar län i söder, en sträcka på ca 250 km. Sedimentkärnorna är 3–5 meter långa, vilket representerar olika lång tid på de olika platserna. Fokus för det här projektet har varit miljöförändringar de senaste 2000 åren. Geokemiska parametrar och mikrofossil av kiselalger har analyserats i de fem sedimentkärnorna. Artsammansättningen av kiselalger är känslig för förändringar i miljön, till exempel vad gäller salthalt, temperatur och näringsstillgång. Genom att analysera sammansättningen av fossila skal av kiselalger kan vi rekonstruera historiska miljötillstånd. Vidare har stabila isotoper av kol och kväve analyserats, vilket kan ge ytterligare information om dåtidens ekosystem. För att kunna bestämma när miljöförändringar i historien inträffade är sedimenten daterade med hjälp av radioaktiva isotoper av kol och bly.



En sedimentkärna från en syrefri botten i Stockholms skärgård. Lamineringarna består av säsongsvariationer i sedimentationen, och bevaras på grund av avsaknaden av grävande organismer i en syrefri miljö.

FOTO: ELINOR ANDRÉN



# ROBOTAR

## undersöker havets botten

*Det som sker på havets botten studeras bäst på plats. Där nere är det svårt för människor att arbeta, och därför tar man hjälp av tekniken. En forskargrupp vid Göteborgs universitet är världsledande när det kommer till studier med så kallade bottenlandare.*

**I** bottensedimenten finns viktig information om framtiden för våra hav och hela vår planet. Här lagras näring och miljögifter som läckt ut i havet, men också stora mängder kol, vilket är avgörande för klimatet. Att undersöka vad som läcker ut och lagras i sedimenten är alltså mycket

intressant såväl i grundare områden, som Östersjön, som i de stora djuphavsslätterna som täcker mer än hälften av jordens yta.

Oavsett vad man söker i sedimenten så vill man undvika så många felkällor som möjligt. Att ta upp sediment från sin naturliga miljö till ett laboratorium

är inte optimalt. Förutom mekanisk påverkan förändras då bland annat tryck, temperatur, ljus och syre, samtidigt som både djur och bakterier påverkas. Det bästa sättet är istället att göra mätningarna och experimenten direkt vid havsbotten. Det är här robotarna kommer in. Sedan 25 år har man vid Göteborgs universitet utvecklat självgående robotar, så kallade bottenlandare, och använt dem i forskningen. Dessa farkoster gör automatiska sediment-vattenmätningar direkt vid havsbotten, och gör det också möjligt att simulera olika typer av händelser och processer på botten som man vill stude-

En stor bottenlandare under isättning i Östersjön med sjunkvikter i form av 300 kilo järnvägsräls. Själva roboten är byggd i titan, glasfiber och plast.







Robotarna används i en mängd olika bottenmiljöer. Här pågår mätningar i grumligt vatten under en musselodling.

FOTO: DANIEL TAYLOR



FOTO: ANNA APLER

⤴ För att klara extremt tryck och fungera tillförlitligt under lång tid har landarna flera smarta tekniska lösningar. Noggrant underhåll mellan expeditioner är en förutsättning för framgång.

ra. Sammanlagt har bottenlandarna använts mer än 300 gånger och som mest på nära 6 000 meters djup. Detta har resulterat i många vetenskapliga publikationer och internationellt samarbete med en rad olika forskargrupper.

### Närstudier på djupet

Hur fungerar då en bottenlandare? Man kan säga att mätningarna går ut på att stänga inne en liten del av havsbotten med överliggande vatten och sedan mäta vad som läcker ut eller tas upp av sedimenten.

Efter att ha förberett landarna på däck skickas de ner till botten, antingen genom att hänga dem i en tamp och försiktigt hissa ner dem till botten om vattnet är grunt eller helt autonomt med hjälp av en skyttel. Denna sjunker med hjälp av vikter för att landa på botten och flyter till ytan när vikterna släppts när mätningarna är färdiga.

Väl på botten börjar roboten arbeta. De så kallade inkubationskamrarna trycks försiktigt ned i sedimentet och lämnas öppna för att ventileras i ett antal timmar. Därefter stängs locken till kamrarna automatiskt av en minidator och mätningarna börjar. En motor rör om vattnet inne i kammaren medan sensorer mäter inuti och utanför kamrarna och ett antal automatiska sprutor tar tidsserier av vattenprover från det inneslutna vattnet.

Sensorerna mäter salthalt, temperatur, tryck, grumlighet, syrgas och ibland koldioxid. Beroende på hur biologiskt och kemiskt aktiva sedimenten är kan försöken pågå i mellan 6 timmar i sediment med mycket organiskt material, och upp till 72 timmar i lågaktiva sediment som till exempel finns i djuphavet eller på många ställen i Medelhavet.

När mätningarna är färdiga släpps vikterna som håller landaren vid botten med en akustisk fjärrkontroll så att den stiger

till ytan, eller vinschas upp om man är på grunt vatten.

När den lyfts ombord kontrolleras sensordata för att avgöra om allt gått enligt plan och om vatten- och sedimentproverna ska tas tillvara för vidare analys.

### Simulerar syrebrist

Bottenlandarnas unika möjligheter att mäta vad som händer vid botten har spelat en viktig roll för att bättre förstå hur betydelsefulla sedimenten är för havsmiljön. Flera projekt har fokuserat på syreförbrukning och läckage av näringsämnen från sedimentet. I Östersjön, där mycket näring har läckt ut från land och lagrats i botten genom åren, kan sedimenten bidra med minst 80 procent av det fosfor som tillförs Östersjöns vatten. Överskott av fosfat leder ofta till att cyanobakterier blommar och skapar problem på sommaren. Läckaget styrs i huvudsak av syreförhållandena vid botten. När syrehalten sjunker frigörs fosfat. Även balansen mellan flera grundämnen påverkas av lågt syrehalt, och djuren som lever i och på botten kan dö.

Landarna har också anpassats för att kunna göra kontrollerade experiment på botten. Man kan till exempel låta syrenivåerna sjunka till noll och följa i detalj hur detta påverkar läckaget av näringsämnen och föroreningar. Ökar man omrörningshastigheten så att det inneslutna sedimentet virvlas upp kan man också simulera de effekter naturliga processer som starka strömmar och vågor eller mänsklig aktivitet som trålning och muddring har på sedimentet. På det sättet har man kunnat konstatera ökad syreförbrukning, bindning av fosfat till partiklar, och frisättning av vissa föroreningar.

I ett annat försök injicerades kalkrik lera, mörgel, som är en biprodukt från cementproduktion, i kamrarna. Här ville man se om detta kunde vara en möj-

lig metod för att permanent binda fosfat till sedimentet i en syrefri miljö. Experimentet genomfördes på 104 meters djup i Kanholmsfjärden i Stockholms skärgård. Det visade att läckaget av fosfat från sedimentet kunde reduceras till ungefär hälften genom att bindas till kalkrik lera.

### Från kust till djuphav

Olika typer av förorenade sediment har undersökts med bottenlandare, till exempel botten under fisk- och musselodlingar, läckage från kvicksilverrika cellulosa-fiberbankar utanför pappersbruk och sediment som läcker arsenik från dumpad kemisk ammunition från andra världskriget.

När robotarna har arbetat på större djup, så som Nordatlantens djuphavsslätter (4500–4800 meters djup) eller i de allra djupaste delarna av Arktis (Molloydjupet är runt 5 680 meter djupt), har mätningarna i huvudsak varit fokuserade på att förstå vilken roll sådana sediment spelar i de globala kol- och näringscyklerna.

I år kommer landarna först att användas i Östersjön där man under flera år har kartlagt läckage av näringsämnen från sedimenten. Dessa studier har inkluderat effekter av inströmning av syrerikt bottenvattnet. Därefter kommer landarna användas i västsvenska fjordar, och senare i höst skeppas en av landarna till Kalifornien där forskare från Göteborgs universitet är inbjudna att delta i en amerikansk Stilla havs-expedition med fokus på det organiska och oorganiska kolets omsättning i djuphavet. ?

#### TEXT OCH KONTAKT:

Anders Tengberg och Per Hall, Institutionen för marina vetenskaper, Göteborgs universitet

anders.tengberg@gu.se



# ÖSTERSJÖN - vårt svenska Galapagos

*Darwin åkte till Galapagos och började där förstå arternas uppkomst. Dagens evolutionsforskare åker till Östersjön. Här har utvecklingen gått mycket snabbt – på bara 8 000 år har flera nya arter hunnit bildas.*

**E**fter 18 timmars sträckkörning från Tjärnö marina laboratorium på västkusten når vi Järnäs-klubb strax söder om Umeå. En kort nattsömn och sedan är det på med vådräcker, cyklop och snorkel – vi ska samla in prover av smaltång, vilken utvecklats från blåstång, som växer häruppe. De cirka 10 centimeter stora smaltångsplantorna är väldigt buskiga och och mycket olika sina halvmeterhöga blåstångssläktingar på västkusten. Ändå är det bara 8 000 år sedan den första blåstången vandrade in i Östersjön.

Så olika på så kort tid, hur kan det ha gått till? Tankarna går till Galapagos och Charles Darwins upptäckt att fåglar, sköldpaddor och leguaner på dessa öar i Stilla Havet hade förändrat sina utse-

den kraftigt jämfört med hur de såg ut på det sydamerikanska fastlandet. Förändringar som fick Darwin att förstå att nya arter bildas ur redan existerande arter när de möter nya livsmiljöer.

## **En väldigt annorlunda miljö**

Precis som förhållandena på Galapagos-öarna skiljer sig från Sydamerikas, är Östersjön med sin låga salthalt väldigt annorlunda jämfört med Nordsjön och Atlanten. Galapagos ligger långt från fastlandet vilket gör att djur och växter inte så lätt kan färdas fram och tillbaka. På samma sätt är Östersjön avsnörd från Nordsjön genom trånga sund i Bälten och Öresund. Liksom arterna som en gång befolkade Galapagos förändrades genom naturligt urval och evolution, har de marina arter som vandrat in i Östersjön också genomgått evolution och blivit genetiskt förändrade. Skillnaden är att anfäderna till Galapagos djurvärld har varit isolerade i 3–5 miljoner år, medan Östersjöns kolonisering av marina arter började för bara 8 000 år sedan.

## **Få arter har vandrat in**

Knappt tio procent av Nordsjöns marina arter har vandrat in i Östersjön. En del har bara vandrat en kort sträcka med-

an andra, som till exempel blåstång, sill och östersjömussla, har lyckats etablera sig i nästan hela Östersjön. Det innebär att dessa lever i en salthalt som är bråkdelen av oceanisk salthalt, 3 till 4 promille istället för 35 promille, och dessutom utan tidvatten och med risk för långvarig isläggning. Vad är det som är så speciellt med de arter som klarat detta jättekliv?

## **Genetisk variation behövs**

Först och främst kan vi konstatera att de arter som klarat omställningen är väldigt vanliga arter, både i och utanför Östersjön. Sill är kanske världens vanligaste ryggradsdjur och torsken är (eller kanske var!) en helt dominerande art i norra Atlanten. Blåmusslan, östersjömusslan, blåstången och flera av Östersjöns andra alger är alla vanligt förekommande arter.

Att de är vanliga innebär att det finns många individer som bär på olika ärftliga egenskaper. Vanliga arter innehåller därför oftast mycket genetisk variation, och detta är viktigt för att kunna anpassa sig till en ny miljö. Anpassningen sker helt enkelt genom att individer som har de ärftliga egenskaper som är mest lämpade för miljön överlever och får mest avkomma. Det var detta som Darwin kom på efter att ha funderat över djuren på

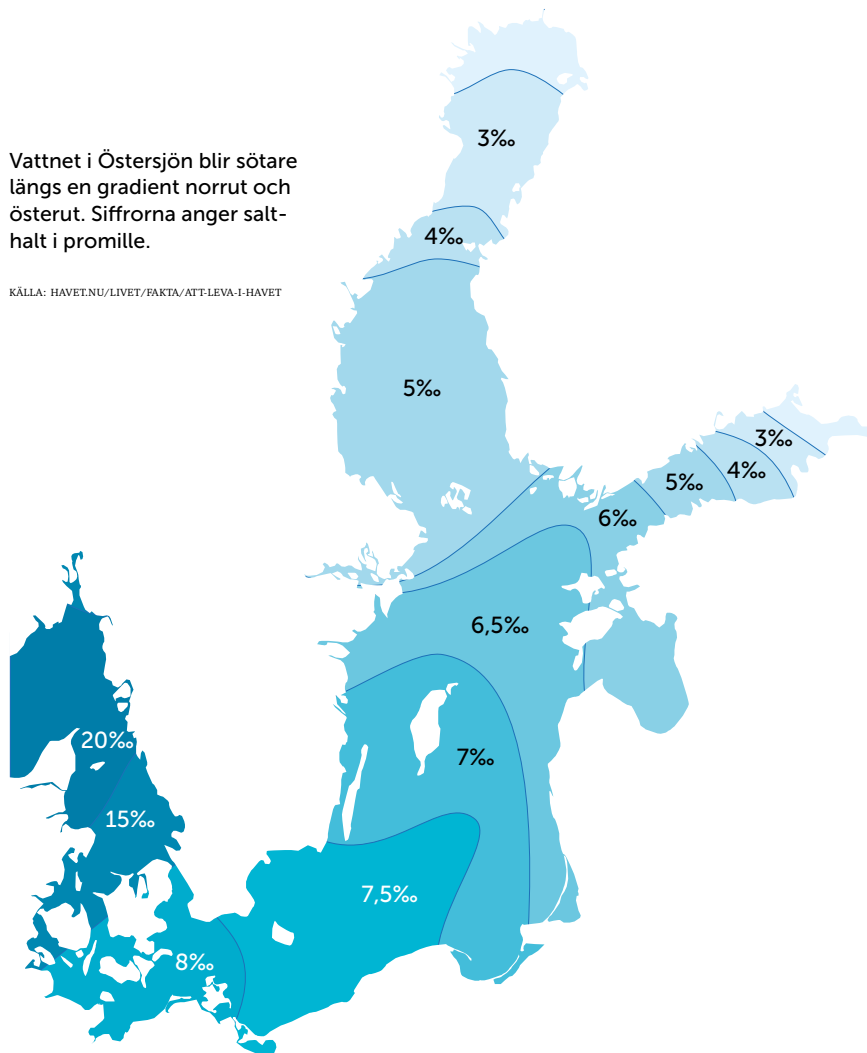




FOTO: YARLEZ/SHUTTERSTOCK

Vattnet i Östersjön blir sötare längs en gradient norrut och österut. Siffrorna anger salthalt i promille.

KÄLLA: HAVET.NU/LIVET/FAKTA/ATT-LEVA-I-HAVET

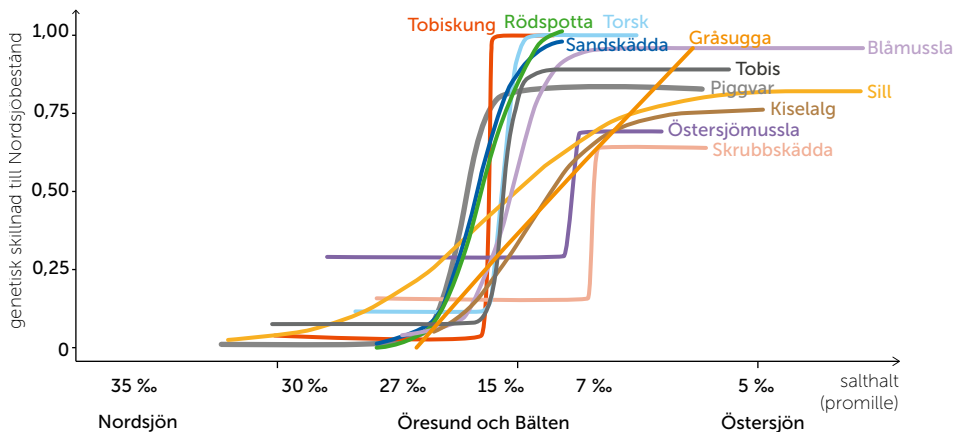


Galapagos, alltså evolution genom naturligt urval.

### Det genetiska skuttet

Även om vi inte vet exakt hur alla arters anpassningar har gått till så ser vi spåren i deras DNA, i arvsmassan. Forskare har sekvenserat arvsmassan hos ett tjugotal av de marina arter som finns i Östersjön, och jämfört hur den ser ut i bestånd i och utanför Östersjön. Det har visat att det händer något i mynningen till Östersjön: Plötsligt blir skillnaderna mellan bestånden väldigt stora – arterna gör ett ”genetiskt skutt”.

Hos flera av arterna är skuttet dramatiskt. Torsk, blåmussla, piggvar, rödspotta och tobis visar kraftiga genetiska förändringar i Öresund och danska Bälten, just där salthalten förändras som mest. Att förändringarna sker just där visar att det till stor del handlar om skillnader som är kopplade till salthaltsanpassning. Att anpassningen till salthalt är viktig för marina arter är kanske inte så förvånande, men att övergången från ett genetiskt bestånd till ett annat är så skarp var oväntat.



Figuren visar genetiska skillnader mellan bestånd av marina arter längs salthaltsgradienten från Nordsjön och in i Östersjön. Skillnaden till Nordsjöbestånden ökar markant hos flera arter i Öresund och Bälten, där salthalten minskar kraftigt.

### Tången klonar sig

Hos blåstången har en väldigt speciell förändring skett: Många av individerna i norra Östersjön är kloner som förökar sig med små vegetativa skott som lossnar och ger upphov till nya individer. En av dessa kloner är vad vi kallar smaltång. Smaltången finns på svenska sidan av Bottenhavet och även i begränsad omfattning på den finska sidan.

Att föröka sig vegetativt som komplement till att hanar och honor bildar spermier och ägg som släpps ut och befruktas

i vattnet, tycks ha varit en fördel under blåstångens invandring i Östersjön. Det går snabbare att sprida sig om en individ kan bilda nya avkommor på egen hand. Dessutom kan det vara ett säkrare sätt att föröka sig, eftersom äggcellernas befruktning riskerar att misslyckas när vattnets salthalt är låg.

### Torsken har supergener

Även torsken har anpassat sin fortplantning till miljön i Östersjön. Äggen är större och har bättre flytförmåga så att de





FOTO: KRASOWITZ/SHUTTERSTOCK

Man antar att supergenerna är nyckeln till att torsk så framgångsrikt lyckats kolonisera olika miljöer.

inte sjunker till botten i den låga salthalten. Ny forskning visar att generna som styr flytförmågan sitter i bitar av kromosomer som har vänts i fel riktning, så kallade inversioner. Dessa kallas även ”supergener” eftersom de innehåller många olika gener som nedärvs tillsammans. Torskens supergener är cirka en miljon år gamla och finns även hos torsk i Nordsjön, men mer sällsynt. I nya miljöer kan supergener som är gynnsamma för individen snabbt bli vanligare genom naturligt urval. Man antar att supergenerna är nyckeln till att torsk så framgångsrikt lyckats kolonisera olika miljöer. Även andra arter som sill och rödspotta har supergener som gjort en snabb anpassning till Östersjöns låga salthalt möjlig.

### Väcker många frågor

Blåmussla, östersjömussla, blåstång, torsk och sill är föremål för forskarnas funderingar om huruvida östersjöbestånden är egna arter eller inte. Gränsen är flytande. Den bottenlekande flundran är idag identifierad som en egen art, demersal skrubbskädda, *Platichthys solemdali*. En annan kandidat är Östersjötorsken, eftersom den verkar vara helt isolerad från torsken i Öresund och Bälten. Norr om Kalmarsund har sillen ett eget svenskt namn, strömming, men samma vetenskapliga namn, *Clupea harengus*. Här är situationen dessutom väldigt komplex med flera olika bestånd som är kraftigt genetiskt åtskilda också inom Östersjön.

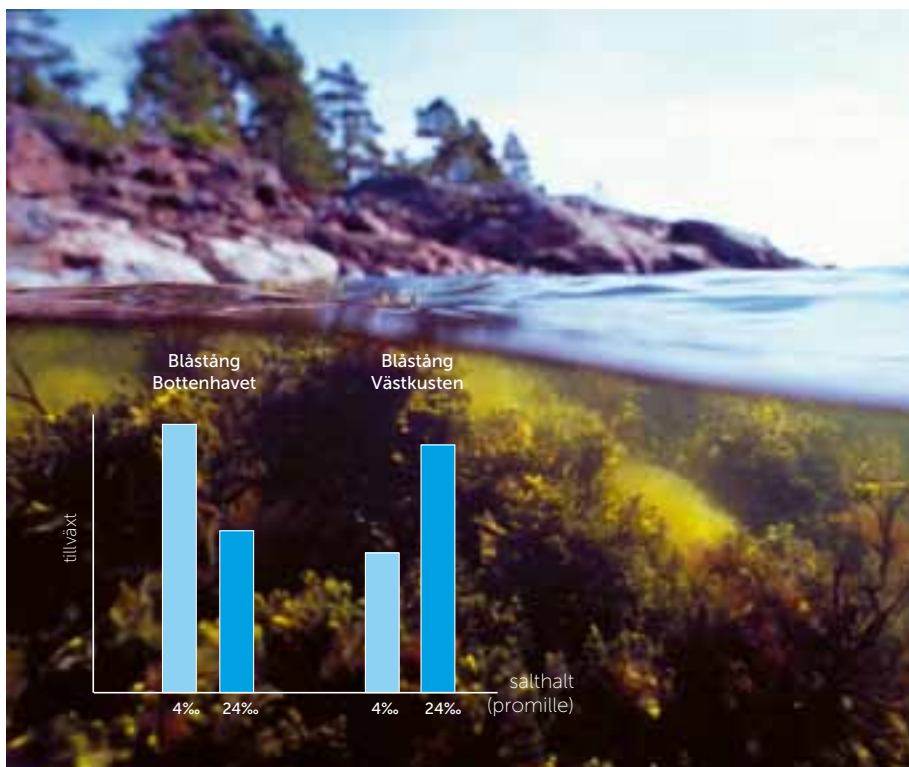


FOTO: JERKER LOKMANTZ/AZOTE

Blåstången i Bottenhavet har anpassat sig till den låga salthalten och växer snabbare i 4 promille än i västkustens 25 promille. Västkustens blåstång växer bäst i den högre salthalten.

### EN VANDRINGSHISTORIA OM MUSSLOR

Den utveckling som skedde på Galapagos förklarade Darwin med naturligt urval. Att anpassningar genom naturligt urval har skett till den låga salthalten är uppenbart hos många av de marina arterna i Östersjön. Men i Östersjön finns även en annan orsak till de genetiska skillnaderna.

För några av Östersjöarterna pekar DNA-sekvenserna på ett nära släktskap med norra Stilla havet. Många marina arter har sitt ursprung där och har sedan, ibland vid flera tillfällen, vandrat norr om Kanada och in i Atlanten. Det gäller till exempel blåmusslor och östersjömusslor. Dagens bestånd av musslor i Nordsjön är resultat av en tidig invandring, medan bestånden i Östersjön härstammar från en betydligt senare invandringsväg. Hos dessa arter finns det därför genetiska skillnader som är äldre än 8 000 år. Olika invandringshistorier och naturligt urval förklarar det genetiska skuttet hos dessa arter.

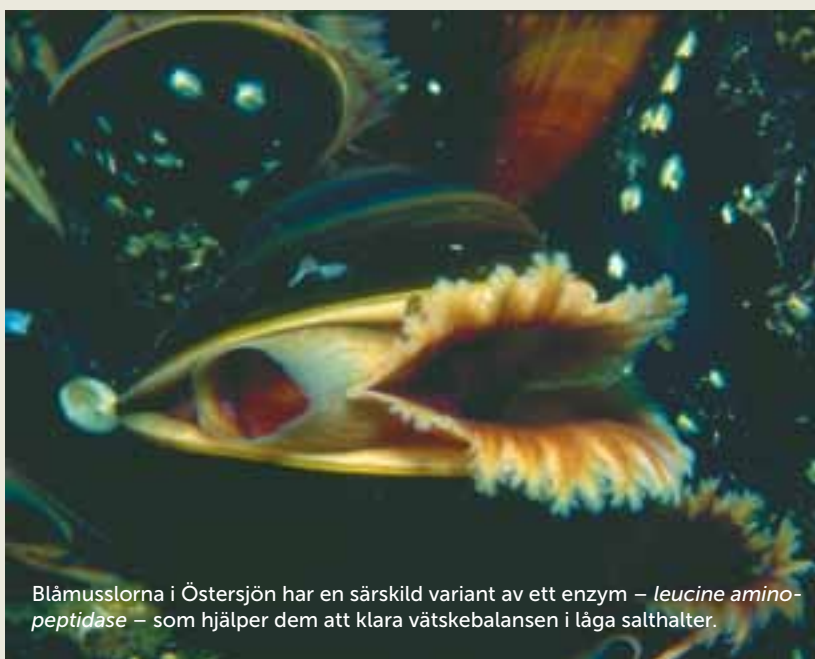


FOTO: LARS OVE LOO

Blåmusslorna i Östersjön har en särskild variant av ett enzym – *leucine aminopeptidase* – som hjälper dem att klara vätskebalansen i låga salthalter.



Den stora frågan för Östersjöns marina arter idag återstår dock. Vad händer när vattnet blir varmare och förmodligen mer utsötat? En besvärlig komplikation är att uppvärmningen skulle kunna tvinga arterna norrut, samtidigt som en salthaltsminskning skulle pressa dem söderut. Förmodligen får många av dem ge vika. Östersjöbestånden är ganska isolerade från släktingarna i Atlanten, och är trots sina anpassningar redan på gränsen till vad de klarar av. Vårt hopp står till att bestånden är stora och har tillräckligt med genetisk variation som kan hjälpa dem att anpassa sig.

## Epilog

Det är dags att packa ihop utrustningen och lämna Järnasklubb. Visst är det fascinerande med sköldpaddor, finkar, leguaner och sjölejon som utvecklats nya arter i Galapagos övärld under loppet av några miljoner år. Men frågan är om inte den lilla smaltången, med sin stora klon

av miljontals tångplantor som täcker stora delar av svenska norrlandskusten, är mer av ett evolutionärt mysterium. Och kanske kan den snabba artbildningen hos flundran och torsken lära oss minst lika mycket om evolutionens mekanismer som arterna på Galapagos?

I en tid då i stort sett alla naturliga miljöer förändras på grund av storskalig mänsklig påverkan är det än mer angeläget att förstå om, och hur snabbt, arter kan förändras för att klara en ny livsmiljö. Och här är Östersjön det perfekta laboratoriet. ?

### TEXT OCH KONTAKT:

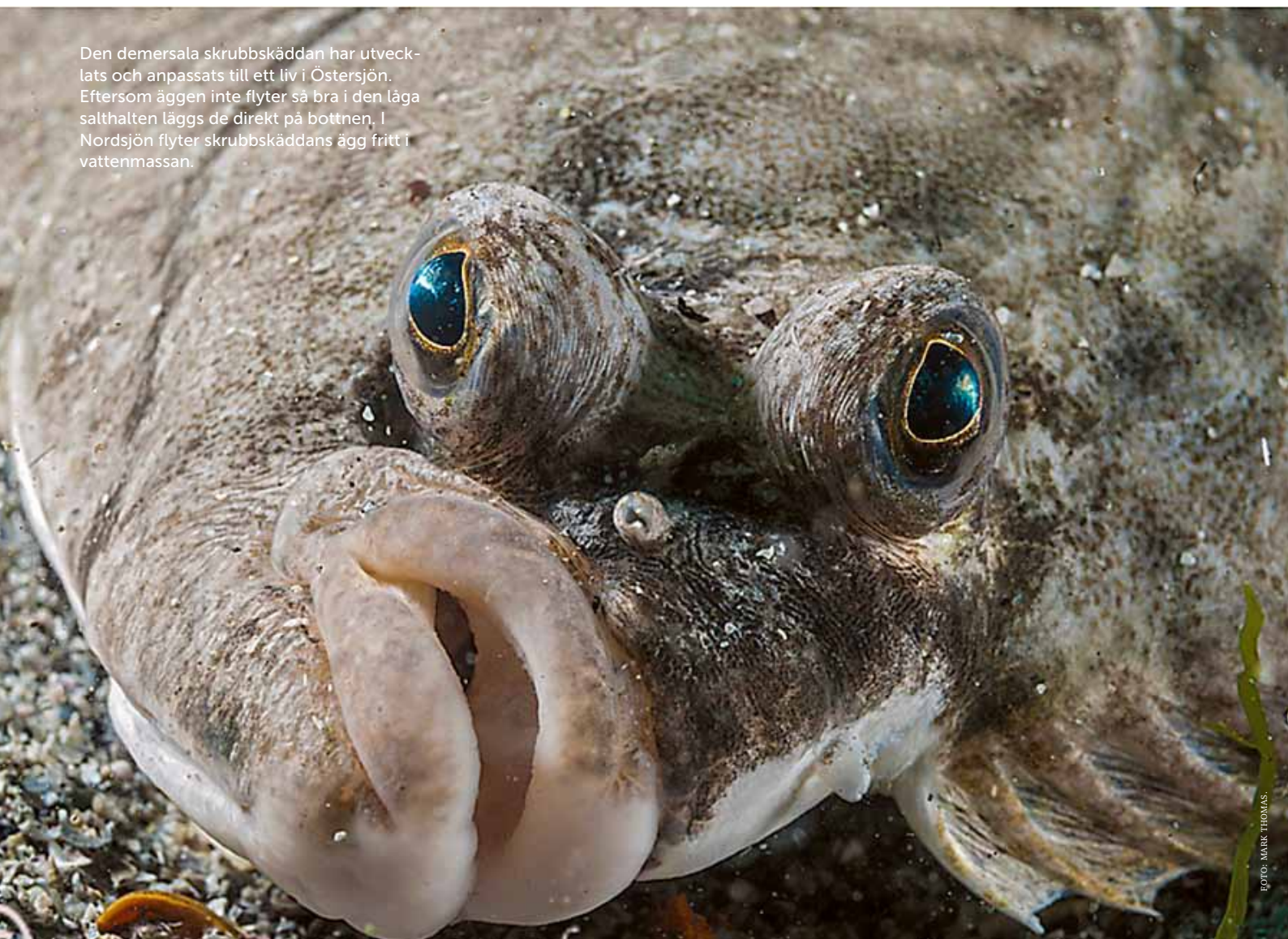
Kerstin Johannesson och Susanne Liljenström. Tjärnö marina laboratorium, Institutionen för marina vetenskaper, Göteborgs universitet  
kerstin.johannesson@gu.se

---

*Den stora frågan för Östersjöns marina arter idag återstår dock. Vad händer när vattnet blir varmare och förmodligen mer utsötat?*

---

Den demersala skrubbskäddan har utvecklats och anpassats till ett liv i Östersjön. Eftersom äggen inte flyter så bra i den låga salthalten läggs de direkt på botten. I Nordsjön flyter skrubbskäddans ägg fritt i vattenmassan.





# En förorenande följetång

*Historiskt sett har sjöfarten varit ett miljövänligt transportmedel med vinden som drivkraft. Idag är läget annorlunda, och sjöfartens drivmedel är en följetång av förorenande bränslen. Nya strängare regler begränsar visserligen svavelhalten i bränslen, men samtidigt uppstår andra problem som innebär ökade risker för havsmiljön.*

**S**jöfarten har under lång tid fungerat som avsättningsmarknad för de allra smutsigaste restprodukterna från oljeindustrin. Svavel, metaller och andra tunga organiska föroreningar är exempel på ämnen som ansamlas i restprodukterna. Medan landbaserade industrier har fått gradvis hårdare utsläppskrav har sjöfartens utsläpp av kväve- och svaveloxider länge varit oreglerade. I slutet av 1990-talet insåg man att sjöfartens utsläpp snart skulle bli större än de landbaserade utsläppen om man inte vidtog några åtgärder. I efterhand kan man konstatera att det var olyckligt att man då inte tog ett tydligare helhetsgrepp.

## Oväntad effekt av reglering

Sedan förra året gäller nya och strängare regler som begränsar svavelhalten i fartygsbränslen. Reglerna infördes för att minska problem med försurning och påverkan på människors hälsa till följd av utsläppen av svaveloxider till luften. Reglerna skrevs i tron att fartygen skulle byta till renare och destillerade bränslen, men effekten av regleringen blev inte som man väntat sig.

Många redare valde att installera den kontroversiella rökgasreningssystemet "seawater scrubbing" på sina fartyg. Med den metoden kan fartygen fortsätta att använda den billigare men svavelhaltiga tjockoljan. Metoden går ut på

Sedan förra året gäller strängare regler som begränsar svavelhalten i fartygsbränslen. Men reglerna har inte fått avsedd effekt. Bland annat har hybridoljor börjat användas. Dessa innehåller mindre svavel, men i stället en mängd andra föroreningar som är både giftiga och oreglerade.

## SVAVEL I MARINT BRÄNSLE

Kraven som gäller svavelhalten i bränsle som används ombord på fartyg är reglerade både genom EU-lagstiftning och genom den internationella sjöfartsorganisationen IMO:s regelverk, den så kallade MARPOL-konventionen. Enligt EU:s svaveldirektiv får svavelhalten i fartygsbränslen inte överstiga 0,1 % i Östersjön, Nordsjön och Engelska kanalen. Lagstiftningen rörande fartygsbränslen har ett snävt fokus på reglering av svavelhalt i bränslen, vilket gett upphov till den utbredda användningen av hybridoljor.

## HYBRIDOLJOR

Hybridoljor är ett samlingsnamn för VLSFO (Very Low Sulphur Fuel Oil, 0,5% svavelhalt) och ULSFO (Ultra Low Sulphur Fuel Oil, 0,1% svavelhalt). Utöver svavelhalten finns det mycket begränsad information om vilka kemiska föreningar hybridoljor innehåller. Under 2021 kommer forskare från Göteborgs Universitet och Chalmers tillsammans med Transportstyrelsen och Havs- och vattenmyndigheten att genomföra analyser av hybridoljor avseende oljornas innehåll av metaller och aromatiska kolväten.



FOTO: JULIEN GAUD/UNSPASH

att man tvättar ut föroreningarna ur avgaserna med vatten som sedan släpps tillbaka till havet. Den strängare regleringen följs, men effekten för miljön blir bara att föroreningarna flyttas från luften till havsmiljön.

Så kallade hybridoljor seglade också upp som en ny produkt på marknaden när de strängare reglerna infördes. Hybridoljorna är visserligen lågsvavliga, men de innehåller andra föroreningar som inte är reglerade.

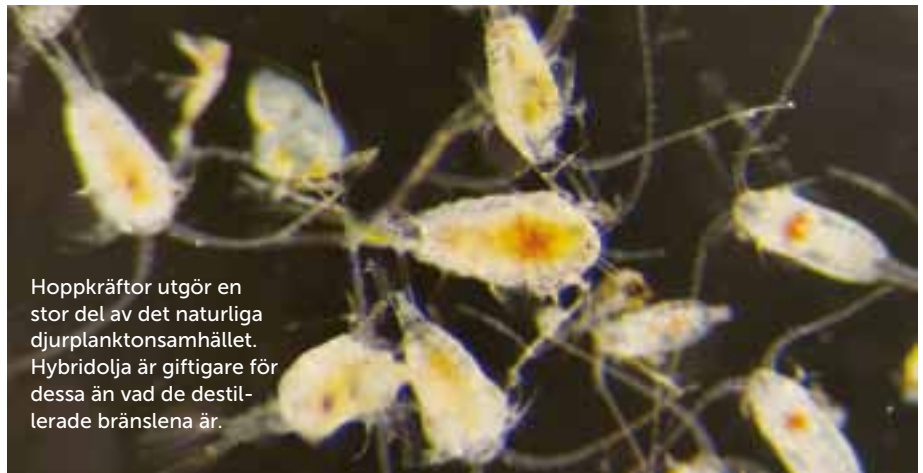
## En giftig blandning

Eftersom hybridoljorna är restprodukter kan deras innehåll variera stort, och det är därmed svårt att dra generella slutsatser om deras miljöpåverkan. Det har gjorts få studier av hur giftiga hybridoljor är för livet i havet, men de få resultat som finns är oroväckande. Genom att utsätta djur- och växtplankton för olika koncentrationer av hybridoljor har man kunnat se negativa effekter på dessa organismer. Växt- och djurplankton är grundstenar i havets ekosystem och används därför ofta i den här typen av ekotoxikologiska försök.

Först ut var en norsk forskargrupp, som påvisade effekter av hybridoljor på enstaka arter av växtplankton och djurplankton. Vår forskargrupp har sedan undersökt hela samhällen av djurplankton. Slutsatsen av våra försök är att hybridoljan är klart giftigare för djurplankton än de destillerade bränslena. Det mest troliga är att det är det större innehållet av så kallade polycykliska aromatiska kolväten (PAH:er) som bidrar mest till den högre giftigheten. Djurplankton som exponerades för ungefär 3 procent hybridoljehaltigt vatten under åtta dagar producerade färre ägg än de som utgjorde kontrollgrupp, men redan vid en exponering på 0,5 procent oljehaltigt vatten såg vi förändringar i artsammansättningen jämfört med kontrollgruppen. Visserligen minskade i antal, och andra överlevde inte alls.

## Ökad sotbildning

Problemen med hybridoljorna uppstår inte enbart när olja läcker ut i havet. En stor del av föroreningarna i oljan når havsmiljön vid förbränning under normal framdrift, eftersom föroreningarna efter utsläpp i atmosfären hamnar på vattenytan. Nya studier pekar på att innehållet av aromatiska kolväten kan vara extremt högt, och att förbränning av hybridoljor ger ökad sotbildning. Det senare är extra allvarligt i arktisk miljö, eftersom svart sot på snö och is ökar avsmältningen.



Hoppkräftor utgör en stor del av det naturliga djurplanktonsamhället. Hybridolja är giftigare för dessa än vad de destillerade bränslena är.

FOTO: CHRISTINA JONANDER



I storskaliga saneringsförsök som Kustbevakningen genomfört har man provat dagens saneringsmetod, och då inte lyckats få upp någon olja alls.

FOTO: INGELA DAHLÖF

## Svår att sanera

Hybridoljorna har också visat sig vara svåra att sanera vid ett utsläpp. Den saneringsutrustning som används idag vid oljeutsläpp är optimerad för tjockolja. Hybridoljorna är en blandning av tjockolja och en renare fraktion för att nå kravet på lägre svavelhalt. För att de två fraktionerna ska kunna blanda sig med varandra tillsätts också andra ämnen, vilket kan vara en förklaring till varför blandningen inte uppför sig på samma sätt som tjockolja i havsvatten.

I storskaliga saneringsförsök som Kustbevakningen genomfört har man provat dagens saneringsmetod, och då inte lyckats få upp någon olja alls. Genom att använda en ny vakuum-sug lyckades man visserligen få upp olja från ytan, men man sög samtidigt upp så stora mängder vatten att effektiviteten var låg.

## Arbetsmiljöproblem

De destillerade, renare och lågsvavliga bränslena som man hade hoppats skulle ersätta tjockolja när reglerna skärptes har även ett lägre innehåll av andra typer av hälsoskadliga ämnen, till exempel cancerogena PAH:er. En positiv bieffekt som förväntades komma av de nya svavelreglerna var därför att arbetsmiljön ombord skulle bli bättre. Eftersom det nu visar sig att det i stället blev hybridoljor

som används på fartygen försvann den positiva bieffekten. Därigenom riskerar besättningen, framför allt de som arbetar i maskinrummet, att exponeras för giftiga föroreningar.

## Vägen framåt

Förhoppningsvis är dock den förorening som följetången kring fartygsbränslen på väg mot sin ände. Det internationella sjöfartsorganet IMO har aktivt ställt sig bakom FN:s 17 hållbarhetsmål och dessutom satt upp mål för halvering av sjöfartens utsläpp av koldioxid till år 2050. Elektrifiering förutspås bli en viktig del för kortare distanser, och en ny typ av seglande fraktfartyg utvecklas i Sverige. Användning av biobränslen, vätgas och bränsleceller är exempel på andra tekniker under utveckling som kan minska sjöfartens påverkan på havsmiljön. ?

## TEXT OCH KONTAKT:

Ida-Maja Hassellöv, Institutionen för mekanik och marina vetenskaper, Chalmers tekniska högskola

Ingela Dahllöf, Institutionen för biologi och miljövetenskap, Göteborgs universitet  
ida-maja@chalmers.se





## NYLANSERING AV SVERIGES VATTENMILJÖ

I början av maj lanserades en uppdatering av sajten Sveriges vattenmiljö. Här kan du ta del av de senaste resultaten från miljöövervakningen i svenska vatten, från källa till hav – i sjöar, vattendrag, kustvatten och öppet hav. ■

» LÄS MER: [www.sverigesvattenmiljo.se](http://www.sverigesvattenmiljo.se)

## NOTERAT



### NYA RAPPEN ÄR HÄR!

Allmänhetens roll när det gäller att få reda på var sällsynta eller invasiva akvatiska arter finns är ovärderlig. Sedan år 2015 har det varit möjligt att rapportera fynd via webbtjänsten "Rappen", vilken använts flitigt av många. Nu har en ny och förbättrad version av Rappen tagits fram. Den nya Rappen är helt integrerad med Artportalen, och fynden blir efter validering direkt tillgängliga där. Dessutom finns en direkt koppling till Artfakta där man hittar information om de olika arterna. För validering av fynd ansvarar en grupp av experter, och för varje organismgrupp finns åtminstone en expert som kan validera och återkoppla till rapportören. ■

» LÄS MER: <http://rappen.nu>.

### HJÄLP ÖSTERSJÖ- FORSKARNA I SOMMAR

Klippor längs Östersjöns kust är ofta täckta av fintrådiga alger och blåstång. Detta är en av Östersjöns viktigaste miljöer och väldigt intressant för forskarna. I sommar finns chans för allmänheten att bidra till vetenskapen

Läs mer: [www.su.se/ostersjocentrum/algforskarsommar](http://www.su.se/ostersjocentrum/algforskarsommar)

## Hårt kritiserat strandskydds- förslag

Strandkyddsutredningens förslag som lämnades till regeringen i slutet av förra året sågas jäms med fotknölnarna av många remissinstanser. Naturvårdsverket anser att förslaget hotar såväl allmänhetens tillgång till stränder som den biologiska mångfalden. Även andra myndigheter, miljöorganisationer och universitet är skarpt kritiska. Fortsättning följer, och i höst förväntas en proposition läggas fram.



FOTO: GERAN DE KLERK/UNSPLASH

## MARINA SKYDDSSOMRÅDEN

Knappt tre procent av världens hav är fullt skyddade, betydligt mindre än på land. Det får gärna bli mer. ■

» **KOLLA IN:** <https://mpatlas.org/zones/>



## SVEALANDSKUSTEN 2021

I april kom den senaste rapporten om miljötillståndet längs Svealandskusten. ■

» **LÄS MER:** [www.havet.nu/svealandskusten/](http://www.havet.nu/svealandskusten/)

## BOKTIPS

# Nytt praktverk från Nationalnyckeln

**UNDER VÅREN 2021** släppte Nationalnyckeln den nya boken *Blötdjur: Sidopalpsnäckor-taggsäcksnäckor*. Djurgruppen innefattar cirka 33 200 arter och är den artrikaste huvudgruppen bland snäckor, med drygt 370 arter i Sverige. Boken är den inledande volymen av två om dessa djur och omfattar 146 svenska arter, främst de marina bakgälade snäckorna samt limniska kamgälssnäckor. Bland dessa finns de spektakulära naken-snäckorna. De flesta av snäckorna finns på västkusten, medan bara ett fåtal arter finns i Östersjön. Volymen är både pedagogiskt upplagd och nycklarna lätta att följa, utan att tumma på den vetenskapliga kvaliteten. Otaliga timmar av dykning ligger bakom bokens faktatexter och vackra bilder. Ett praktverk helt enkelt.

Snäckorna har inte bara kartlagts och beskrivits, utan även fått officiellt veder-

tagna svenska namn på art och familjenivå. Uppfinningsrikedomen under namngivningen har uppenbarligen varit stor - vad sägs om tuppkamsnuding, fläckhjärtlösing, marsipansnäcka och snigelkott? Namnen är tänkta att i stor utsträckning vara självinstruerande.

Med denna bok i ryggsäcken kan sommarens snorkling och strandexkursioner få en extra dimension. Djuren är ofta så små att de är lätta att missa, men de lever sina liv mitt i maten. Om man kikar extra noga runt deras karakteristiskt vita och snirkliga äggsamlingarna så är chansen god att man kan se dem. Och har man väl sett en så ser man snart fler. ■

*Blötdjur: Sidopalpsnäckor – taggsäcksnäckor*, Nationalnyckeln, Uppsala, 2021. ISBN: 978-91-87-85361-6

/Helen Sköld, redaktionen



# Läsvärda barnböcker om havet

*Att lära barn om havet är viktigt men inte alltid så lätt. Man ser inte under ytan. Havsutskikt har läst två nya barnböcker om livet i havet, som är både lärorika och inspirerande.*

**DJUREN I VATTNET** av Sarah Sheppard handlar om ett 60-tal havs- och vattenarter och deras liv. Sidorna i boken är proppfulla av glada och färgsprakande illustrationer som fångar intresset även hos de yngsta läsarna. Genom små och roliga berättelser bombarderas läsaren av lättillgängliga fakta om våra viktigaste arter och ekosystem. Läs exempelvis om hur storspiggen dansar för att få honorna att lägga sina ägg, och förstå vikten av att musslor renar hela havet genom en pratbubble-diskussion mellan en blåmus-selbank och två hungriga rödspättor. Boken innehåller också en seriestripp om ålen och ett kartuppslag som bland annat beskriver skillnaderna mellan salt och sött vatten. ■

*Djuren i vattnet*, Rabén & Sjögren, Stockholm, 2021. ISBN: 978-91-29-72646-6

**I NORIKO PÅ ÄVENTYR I TÅNGEN** av Marie Lenngren och Ingemari Åkerman, får man följa den lilla varelsen Noriko i vardagen i algbältet. Noriko berättar vad hen ser, känner och tänker, och ger på så vis läsaren kunskap om dessa vackra, speciella och viktiga alger. Havsutskikt får positiva Plupp-vibbar av att läsa om Norikos äventyr. Genom att belysa något unikt med varje art och leka med ord som "bubblande tarmtång", "tång med ballonger" och "busig sargassosnärja" får man ta del av all denna tångfakta på ett engagerande sätt. Vet du förresten hur man ser hur gammal en tångruska är? Kan du göra tavlor av vackra tångplanter? Boken innehåller också ett par tips på aktiviteter eller små undersökningar som alla kan göra med tång. ■

*Noriko på äventyr i tången*, Visto förlag, Lerum, 2020. ISBN: 978-91-7885-236-9

/Nastassja Eklöf, redaktionen





## ART I FOKUS

# Smaltång

## – en riktig Östersjöart

**BEFINNER DU DIG LÄNGS** Höga kusten i sommar ska du passa på att glida ner i vattnet, gärna med cyklop och snorkel, för att få se en art som bara finns i Östersjön – smaltång, *Fucus radicans*.

**BRUNALGEN SMALTÅNG** växer på mellan två och fem meters djup längs kusten från Umeå till Öregrund. Längs den finska kusten finns den från strax norr om Vasa ner till Kaskö. En variant av smaltång återfinns även kring den estniska ön Ösel. Ursprunget till arten är blåstång, *Fucus vesiculosus*, som kom in i Östersjön från Atlanten för nästan 8 000 år sedan, när salthalten var högre. I takt med att vattnet blev mer bräckt skedde genetiska anpassningar till den lägre salthalten. Vi vet ännu inte hur, men allt tyder på att smaltång har bildats inne i Östersjön någon gång under de senaste 2 000 åren, kanske ännu snabbare än så. Men den var länge okänd för vetenskapen.

**DET ÄR VANLIGT** att marina organismer blir mindre i storlek om de sprider sig in i Östersjön. Det är en effekt av den lägre salthalten – mer energi måste läggas på att pumpa ut vatten som vill tränga in i organismen för att späda ut dess salthalt. På grund av detta klassades smaltången länge som en blåslös dvärgform av blåstång. Man kan skilja de två arterna åt genom att smaltången aldrig har flytblåsor och ett mycket buskigare växtsätt. Själva bålen är som namnet anger smalare och



FOTO: ROBERT KAUFISKY/AZOTE

upplevs som nättare än blåstång. Med stöd av genetiska studier kunde man år 2005 beskriva smaltång som en egen art. Sedan dess har man forskat vidare kring smaltångens ekologi, reproduktion och genetik.

**EN AV DE MEST OVÄNTADE** upptäckterna under de genetiska testerna gäller förökningen. Smaltång är klonal, vilket innebär att den förökar sig både genom delning och genom vanlig sexuell förökning. Därav har den fått artnamnet "radicans" som betyder rotbildande. Namnet syftar på artens förmåga att "bilda rötter" vilket egentligen betyder att små fragment som lossat kan fästa mot underlaget igen och på

så sätt bilda nya plantor. De individer som kommit till genom sådan delning har alla samma genetiska uppsättning som "moderplantan". Längs Sveriges kust tillhör upp emot åttio procent av alla individer av smaltång samma klon. Det är annars ovanligt med asexuell förökning hos stora brunalger. Men den har även kvar förmågan att föröka sig sexuellt, vilket sker under juli–augusti, när fullmånen hänger som en stor gul ost på sensommarhimlen.

### TEXT OCH KONTAKT

Ellen Schagerström, Institutionen för ekologi, miljö och botanik, Stockholms universitet  
ellen.schagerstrom@su.se