

# Havsutsikt

Om havsmiljön och svensk havsforskning

Nr 2 2024

## KLIMAT

Haven har huvudrollen  
Kollapsar Golfströmmen?  
Utmaning för havets arter

# Behövs mer kunskap?



Forskare arbetar oförtrutet vidare för att utreda klimatförändringarnas effekter på ekosystemen och för oss människor. Men vet vi inte tillräckligt om klimatförändringarna?

Svaret är både ja och nej. Forskningsresultaten pekar mot en skrämmande framtid, men de innehåller också olika sätt att lösa de enorma problem vi står inför. Så ja, vi behöver mer kunskap. Aldrig förr har forskning och kunskap varit viktigare.

Och samtidigt – nej. Det behövs inte ännu mer kunskap för att ta beslut om åtgärder som vänder utvecklingen. Vi förstår redan nu att vi måste förändra vårt sätt att leva. Några andra alternativ finns inte, och det är bråttom.

Vi har valt att ägna hela detta nummer åt klimatet, och hoppas att det kan bidra till en ökad förståelse och acceptans för de stora förändringar vi står inför. Läs och begrunda!

KRISTINA VIKLUND, huvudredaktör

” De beslut vi fattar idag kan vara skillnaden mellan ett sammanbrott och ett genombrott till en bättre värld.”

CELESTE SAULO, GENERALSEKRETERARE  
METEOROLOGISKA VÄRLDSORGANISATIONEN, WMO

FOTO: ANTHONY MC AULAY/SHUTTERSTOCK

## Visste du att...

... tarmalgen fått sitt namn från att den är ihållig som en tarm. Den är vanlig i hållkar längs hela den svenska kusten.

# Havsutsikt

**HAVSUTSIKT** ges ut av Stockholms universitet, Umeå universitet, Göteborgs universitet och Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) inom samarbetet Havsmiljöinstitutet.

Fokus ligger på forskning om havet och havsmiljön, och artiklarna skrivs mestadels av forskare vid de svenska lärosätena. Havsutsikt 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)

### REDAKTIONSRAÅD

Bo Gustafsson, Stockholms universitet  
Erik Björn, 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:

Vladym Mikhieiev/Shutterstock

ISSN 1104-0513


**TRYCK:** Lenanders Grafiska,  
november 2024.

**UPPLAGA:** 12 000 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.

 Havsmiljöinstitutet



UMEÅ UNIVERSITET



Stockholms  
universitet



GÖTEBORGS  
UNIVERSITET





4



7



10



16

## I detta nummer

**Klimatförändringar - haven har huvudrollen 4**

**Vad händer med våra marina arter? 7**

**Ingen ny istid imorgon 10**

**Notiser 12**

**Våra viktiga sjögräsängar 14**

**Kustmiljöer i förändring 16**

**Östersjöns kuster - "hotspots" för metan 18**

**Högre temperatur ökar syreförbrukningen 22**

**Den nordliga krillen - Atlantens lilla jätte 24**

## Forskarminnet

**I SOMRAS VAR JAG PÅ MIN TREDJE EXPEDITION** till norra Grönlands enorma fjordar med isbrytaren Oden. Inga fartyg har tidigare lyckats nå den fjorden vi tog oss till, eftersom havet utanför till stora delar består av mer än fyra meter tjock flerårig packis.

**VI VILLE KOMMA DIT EFTERSOM DESSA FJORDAR SPELAR EN NYCKELROLL** i vad som kan komma att hända med Grönlands tjocka istäcke om det fortsätter att minska. I fjordarna mynnar riktigt stora glaciärer som brukar avslutas med en flytande del som kallas istunga, och som bromsar upp utflödet av glaciäris till havet. Flera av istungorna har försvunnit under de senaste decennierna och vi behöver förstå varför, och varför det går olika fort på olika platser.

**ODEN LÄMNADE PITUFFIK I BÖRJAN AV AUGUSTI.** Vi tog oss lätt igenom det smala Nares sund, men sedan var det som att köra in i en vägg av packis. Med helikopter hittade besättningen en möjlig väg, men under ett dygn gjorde vi knappt en halv knop, och det såg nästan ut som om vi skulle få ge upp. Men vi kom fram till Victoriafjorden till slut.

**HAVSISEN I SJÄLVA FJORDEN VAR INGEN MATCH FÖR ODEN,** den var "bara" en dryg meter tjock. Men det fanns förstås inget sjökort. Därför undersöktes botten noggrant med ekolod innan varje förflyttning. Isbergen från istungan som kollapsat år 2002 hindrade fartyget från att komma till glaciärfronten längst inne i fjorden. Dit kunde vi bara ta oss med helikopter. Då kändes det som att vara i glaciologins motsvarighet till Mordor i Sagan om Ringen!

**EN AV VÅRA HUVUDFRÅGOR VAR OM ATLANTVATTEN** när även till Victoriafjorden. Det kan vi redan nu svara ja på. Detta relativt varma och ganska salta vatten visade sig nå längst in i fjorden, och driver där avsmältningen av glaciären.



FOTO: BIODIV ERIKSSON

*Martin Jakobsson är professor i marin geologi vid Stockholms universitet och har varit på många expeditioner i Arktis.*



# *Klimatförändringar* - haven har huvudrollen





FOTO: VLADYVA MIKHIEV/SHUTTERSTOCK

*Det råder ingen tvekan längre - människans utsläpp av växthusgaser har värmt upp jordklotet. Nya sammanställningar visar också att förändringarna går snabbare än vad man tidigare förutspått. Haven spelar på många sätt huvudrollen i denna utveckling.*

**H**aven täcker över 70 procent av jordens yta. Hela 97 procent av allt vatten som finns är hav. De tar upp och omfördelar både koldioxid och värme, vilket gör att de har en mycket viktig roll för jordklotets klimat. Haven har stadigt värmts upp de senaste 50 åren, och 90 procent av över-skottsvärmen som orsakats av utsläppen av växthusgaser har tagits upp av haven. Haven har också tagit upp ungefär en tredjedel av den koldioxid som släppts ut. Men det finns gränser för vad haven klarar att parera, och ny forskning visar att den gränsen närmar sig.

### Jordens kylskåp smälter

Havens enorma förmåga att lagra värme gör att de genom tiderna haft en viktig roll för att stabilisera klimatet. Men denna uppvärmning har naturligtvis ett pris. Den leder till stora förändringar i havens cirkulation och ekosystem, och den lagrade värmeenergin kommer att fortsätta att värma upp vår planet under lång tid.

Glaciärerna vid polerna smälter av den ökande temperaturen. Minskningen av is är tydligare på det norra halvklotet än i söder. I Arktis blir området som är täckt av is året runt allt mindre, och isen blir tunnare. Arktis fungerar som jordklotets kylskåp, och många forskare är oroliga för hur resten av jorden kommer att påverkas när den arktiska isen försvinner.

### Stigande havsnivåer

I takt med att utsläppen av växthusgaser ökar så stiger havsnivåerna. Det finns två orsaker till detta. Den första är att vattnet expanderar när det blir varmare, så kallad

termisk expansion. Den andra har att göra med att inlandsisar och glaciärer smälter, vilket frigör enorma mängder vatten.

Kuster, öar och polarområden är särskilt drabbade av de stigande havsnivåerna. I Sverige märks havsnivåhöjningen än så länge bara i landets södra delar. Det beror på att de norra delarna är påverkade av landhöjning, vilket motverkar havsnivåhöjningen.

Att förutspå hur mycket havsnivåerna kommer att stiga är svårt, mest på grund av att hastigheten med vilken glaciärerna smälter inte är känd. Detta är ett område som många forskare ägnar sig åt. Haven reagerar också långsammare än atmosfären. Därför kommer havsnivåerna fortsätta att stiga under mycket lång tid, även om vi lyckas nå målet i det globala Parisavtalet och begränsa den globala uppvärmningen till 1,5 eller 2° C.

### Saltare, sötare...

Världshaven innehåller i genomsnitt ungefär 35 gram salt per liter vatten. Salthalten varierar från ytan och neråt. Ju mer salt vattnet innehåller desto tyngre blir det, och bottenvattnet är oftast saltare än vattnet på ytan. Det gör att vattnet skiktat sig, vilket hindrar vattnet att blandas mellan skikten.

Klimatförändringarna kommer att påverka salthalten på olika sätt i olika delar av världen, och de kommer också att påverka skiktningen av vattnet i djupled. I områden nära ekvatorn kommer salthalten att öka. I de norra delarna, exempelvis i Östersjön, förväntas salthalten däremot minska. I ett inlandhav som Östersjön är salthalten en viktig faktor som styr arternas utbredning, och utsötningen kan komma att få stora effekter på ekosystemet.

## FAKTA

### FN:s klimatpanel

Denna artikel bygger till stora delar på rapporter som getts ut av FN:s klimatpanel, IPCC. IPCC - Intergovernmental Panel of Climate Change - är FN:s mellanstatliga klimatpanel som sammanställer det rådande vetenskapliga kunskapsläget kring klimatförändringen, konsekvenser, sårbarhet och möjliga lösningar. Detta görs bland annat i form av rapporter som skrivs med hjälp av underlag från tusentals forskare och experter världen över.

### ...och surare

Den koldioxid som tas upp av haven ombildas till kolsyra, vilket leder till en försurning av vattnet. Många arter är känsliga för detta, och försurningen kommer att få effekter både på enskilda arter och på hela ekosystem. Sill och torsk är exempel på arter som i sina larvstadier är mycket känsliga för försurning.

Att vattnet blir surare innebär också att det finns mindre kalk i vattnet, vilket påverkar djur och växter som använder kalk till sina skal och skelett. Ett tydligt exempel är koraller, som har mycket svårt att överleva när vattnet försuras.

Vikaresälen är beroende av stabil is för att föda sina ungar. Klimatförändringarna leder till minskande is, och utgör därför ett starkt hot mot vikaren i Östersjöområdet.

FOTO: ROBERT HARDING/SHUTTERSTOCK



### Ekosystem i förändring

Att haven värms upp påverkar alla djur och växter som lever i havet. Redan nu ses både ökande och minskande utbredningar av djur och växter i Sveriges havsområden. Värmeböljor i havet har blivit både vanligare och värre som en konsekvens av klimatförändringarna. Många arter påverkas av detta, och därigenom förändras ekosystemen. Höga temperaturer i djupvattnet gör att sjögräsängar och musslor får svårt att överleva. Vikaresälen som finns i Bottniska viken och föder sina ungar på isen får det svårt när vintrarna blir mildare. Detta är några av många exempel.

Dessa förändringar kan leda till kaskadeffekter i havsekosystemen, alltså

händelsekedjor som fortplantar sig och i slutändan kan få stora konsekvenser för hela ekosystem. I vissa fall kan klimatförändringarna också samverka på ett negativt sätt med andra miljöproblem. Ett exempel på det är överfiske, som förväntas få ännu kraftigare effekt på ekosystemet när det även utsätts för klimatförändringar.

### Brunare vatten

Klimatförändringarna leder till ökande nederbörd, vilket i sin tur gör att vattnet i Östersjön blir brunare av organiskt kol som härstammar från skog och våtmarker och når havet via de stora älvarna. Effekten är som störst i de nordliga delarna av Östersjön, Bottniska viken. Detta fenomen kan gynna bakterier och missgynna växtplankton. Näringsväven blir därigenom mindre effektiv, vilket i slutändan kommer att leda till en lägre produktion av fisk.

### Minskade utsläpp får effekt

Forskningen har alltså på ett övertygande sätt kunnat visa på omfattande effekter av klimatförändringar, både pågående och i framtiden. Hittills har inte utvecklingen kunnat vändas, utan utsläppen av växthusgaser har ökat från år till år. Men det finns också många studier som visar att åtgärder kan få effekt. En stor, snabb och varaktigt minskning av växthusgasutsläppen skulle leda till en märkbar inbromsning av den globala uppvärmningens takt inom cirka två decennier. Det är inte för sent, men hög tid att vända utvecklingen.

TEXT:

Kristina Viklund, redaktionen

Korallrev är jordens mest artrika miljöer. Korallerna är mycket känsliga för både försurning och förändringar i temperatur. Klimatförändringar anses vara den viktigaste orsaken till att koraller nu dör i snabb takt.

FOTO: KHANITECH/SHUTTERSTOCK



# Vad händer med våra *marina arter?*



*Klimatförändringarna är ett faktum, och en bland många frågor är: Hur kommer arterna i våra känsliga kusthav att påverkas? Utmaningen ligger inte bara i att anpassa sig till en förändrad miljö, utan även i att konkurrera med nya arter.*

**P**rognoser visar att ytvattnets medeltemperatur i våra svenska hav kommer att öka med 3-6 grader under sommarmånaderna fram till slutet av detta sekel. Den största ökningen sker i Bottnhavet. Salthalten beräknas minska med upp till 3 promille, och här är förändringen störst i södra Kattegatt och sydvästra Östersjön.

## **Olika effekter för olika arter**

För de arter som lever här kan klimatförändringarna leda till: 1. Arten dör ut lokalt; 2. Arten "följer klimatet" och flyttar till ett nytt område; eller 3. Arten blir kvar, antingen genom att den tål förändringen eller genom att den variation som finns i olika egenskaper selekteras så att beståndet på sikt anpassas. En art kan också drabbas av indirekta effekter. Den kanske klarar det nya klimatet men får konkurrens av nya värmetåliga arter eller blir utsatt för invaderande parasiter som tidigare inte klarat att leva i vårt klimat.

Hur ekosystemens nyckelarter klarar sig kan bli avgörande för många andra arter genom kaskadeffekter. Allt är alltså mycket komplicerat och det är svårt att förutsäga mer exakt vad som kommer att hända. Men vi misstänker att Östersjöns bestånd av marina arter är speciellt utsatta. När temperaturen ökar skulle en lösning för dem kunna vara att flytta norrut, men då möter de istället en lägre salthalt vilket de förmodligen inte klarar. Alltså måste de överleva genom anpassning, och då är frågan: Vilka marina arter som idag lever i Östersjön kommer att klara att anpassa sig till de nya förutsättningarna?

FOTO: MAGIC BONES/SHUTTERSTOCK



*Filtsjöpfung, även kallad havsspya, är en invasiv art med ursprung i Japan som nu har hittats i Kosterhavets nationalpark utanför Strömstad. Den kan bilda täckande kolonier som breder ut sig som en filt över underlaget.*

## Fördel med stor variation

Organismer med väldigt stora populationer och snabb generationstid har bäst förutsättningar, med många nya mutationer och snabb omblandning av egenskaper. Sjukdomsalstrande bakterier utvecklar till exempel resistens mot ett nytt läkemedel inom loppet av några få decennier. Bakterierna i havet bör därför ha mycket bra förutsättningar att klara klimatförändringarna.

Även större arter som lever i många olika miljöer och har stor genetisk variation har visat sig ha förmåga till anpassning över korta tidsrymder. Strandsnäckor på västkusten klarade i ett experiment att byta miljö helt och hållet. Stora snäckor med ett tjockt skal tåligt mot krabbor omvandlades till små, tunnskaliga snäckor med en stor fot som klarade stormvågor på hala klipphällar på mindre än 30 år. Liknande snabba anpassningar har man funnit hos bland annat spigg och strandkrabbor som koloniserat nya miljöer.

Sill och blåmussla är andra arter som lever i flera olika miljöer, har mycket stora bestånd och har en stor genetisk variation. Hos sill finns ett mycket stort antal genetiskt distinkta bestånd runt våra kuster, och bland dessa finns bestånd anpassade för olika temperaturer.

## Utmaning för blåstången

En anpassning av Östersjöns blåstång kan bli mer problematisk. Om den inte anpassas till klimatrelaterade förändringar

kommer den i stort sett att försvinna från Bottenhavet och Finska viken. Det kan man visa genom modeller som tar hänsyn till vad dagens blåstång klarar för salthalt och temperatur, och hur den påverkas av vattengräsuggan *Idotea balthica* som är en av få arter som äter blåstång.

Blåstång har, precis som sillen, bestånd som är lokalt anpassade till Östersjön, men i norr händer också något oväntat. Från Öregrundsgrepen till norra Kvarken (där tången har sin nordligaste utbredning) dominerar arten av individer av en och samma klon. Denna klon finns i hundratals miljoner kopior som kommit till genom att små grenar fallit av och växt ut till nya individer.

Kan en stor klon anpassa sig? Det borde vara svårare utan den omblandning av gener som sker vid sexuell förökning. Men nya studier av en stor och 1400 år gammal klon av ålgräs utanför Åland visade 7000 nya mutationer, varav 430 var sådana som skulle kunna påverka klonens egenskaper. Möjligen har naturlig selektion bland dessa mutationer hjälpt klonen att överleva i Ålands hav.

## Hur ser framtiden ut?

Så vilka makroarter dominerar Östersjön och Västerhavet om 50 år? Förlorarna i Östersjön är förmodligen arter som idag har små bestånd eller saknar sexuell omblandning. Torsk, blåstång i Bottenhavet och ålgräs är i farozonen. Arter som sill, blåmussla och Östersjömussla har sto-

ra bestånd och mer genetisk variation än andra arter och skulle kunna klara en anpassning. Bakterier och vanliga plankton bör också kunna utveckla nya anpassningar i takt med att miljön förändras.

Sedan tillkommer de nya främmande arter som kommit hit, och som klarar bräckt vatten med lägre salthalt och varmare vatten. Redan idag finns en havstulpan med amerikanskt ursprung, svartmunnad smörbult, zebramussla och flera nya arter av småkrabbor. Alla dessa kan förväntas öka i förekomst. Vi kommer också att se en ökning av de sötvattensarter som klarar bräckt vatten; abborre, sik och gädda, sötvattenssnäckor och insekter, där det redan idag finns flera arter som lever i Östersjöns grundare områden och därför tål varmare vatten.

På västkusten är de direkta hoten förmodligen något mindre allvarliga, men däremot kan de indirekta hoten i form av konkurrens från nya arter ställa till stora problem. Stillahavsstronet verkar mer utgöra en tillgång än ett problem i ekosystemet, men den amerikanska kammaneten är lurig och utgör redan ett hot mot fisklarver och djurplankton. Rödalgen *Bonnemaisonia* som ingen verkar gilla att äta har blivit mycket vanlig, och filtsjöpfung (eller "havsspya") är ett nytt hot från en art som kan bli väldigt dominerande – den har redan upptäckts i Kosterhavets nationalpark.

Ekosystemen i sig kommer naturligtvis inte att krascha helt av dessa för-



ändringar, men det kommer ske kraftiga omvälvningar.

## Vad kan vi göra?

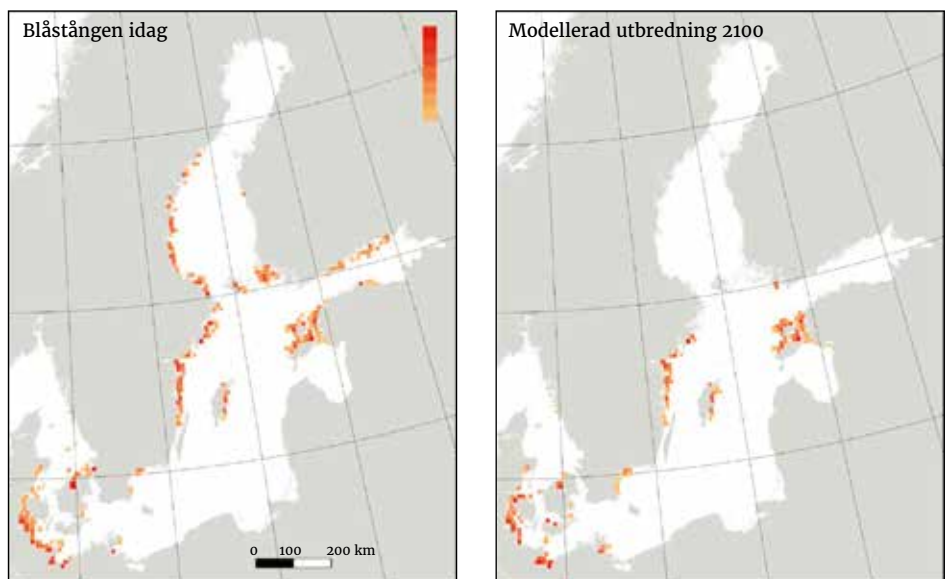
Kan vi göra något för att mildra de negativa förändringarna? Den kunskap vi har idag visar entydigt att stora bestånd och bestånd med olika typer av lokala anpassningar (ungefär som hos sillen) har goda chanser att klara klimatförändringar. Det är alltså viktigt att vi redan idag både skaffar kunskap om arters olika lokala anpassningar och gör kloka förvaltningsplaner. I dessa planer måste den genetiska mångfalden ingå, för den kommer att behövas de närmaste åren för de flesta av våra idag viktiga arter.

### TEXT OCH KONTAKT

Kerstin Johannesson, Institutionen för marina vetenskaper, Göteborgs universitet

Kerstin.johannesson@gu.se

## UTBREDNINGEN AV BLÅSTÅNG I ÖSTERSJÖN



*Ekologisk modellering av blåstångens utbredning i Östersjön visar att den kommer få svårt att överleva i Bottenviken och Finska viken runt nästa sekelskifte som en följd av kraftigt förhöjd vattentemperatur och troligen minskande salthalt. Ju mörkare röd färg desto högre täthet av blåstång.*

*En klon av blåstång har sin utbredning från Öregrundsgrepen till norra Kvarken (Järnäs). Toleransen hos denna "superhona" för högre vattentemperatur kan avgöra blåstångens framtid utefter svenska Bottenhavskusten.*

FOTO: RICARDO PEREYRA, GÖTEBORGS UNIVERSITET

# Ingen ny istid imorgon

FOTO: ANDREY POLIVANOV/SHUTTERSTOCK

*Kommer Golfströmmen kollapsa på grund av den globala uppvärmningen? Eller är det bara spekulationer som drar uppmärksamheten från viktigare klimatfrågor? Oceanografen Léon Chafik förklarar varför ett av de mest dramatiska klimathoten också är det vi vet allra minst om.*

**T**rettio grader kallare vint-  
rar, våldsamma vinter-  
stormar och isflak på  
havet ända ner till Portu-  
gal. På senare år har flera  
rapporter varnat för att  
Golfströmmen kan nå en kritisk punkt och  
kollapsa inom bara några decennier. Och  
varje gång en sådan rapport släpps, blos-  
sar debatten bland forskare upp – vad vet  
vi egentligen om framtiden för Golfström-  
men?

Léon Chafik, oceanograf vid Stock-

holms universitet, tillhör dem som vill  
mana till besinning.

– Det är ingen tvekan om att det skulle  
bli betydligt kallare på våra breddgrader  
om det här strömsystemet försvagades.  
Men det finns ännu inga tydliga observa-  
tioner som visar att det händer, säger han.

## En del av något mycket större

Golfströmmen är egentligen bara en del av  
ett mycket större system: AMOC (Atlantic  
Meridional Overturning Circulation). Det  
är detta enorma strömsystem som trans-



FOTO: LÉA CHAFIK

*Léon Chafik är forskare i oceanografi och havsklimat vid Stockholms universitet.*

porterar värme från tropikerna upp till norra Europa och ger oss mildare vint-rar. När vi pratar om Golfströmmen är det ofta AMOC vi egentligen menar – en samling strömmar som rör sig på olika djup, från ytan ner till botten. Det är ett otroligt komplext system.

– Ju mer jag lär mig om det, desto mer inser jag hur lite vi faktiskt förstår. För att förstå hur AMOC påverkar vårt klimat behöver vi veta hur strömmarna rör sig, i vilken hastighet och hur mycket värme de transporterar. Då behövs kontinuerliga mätningar över en lång period. Och det är här problemet ligger: Några sådana mät-serier finns inte. De mätserier vi har bör-jade för bara 20 år sedan, säger Léon Cha-fik.

## Svårt att dra slutsatser

Enligt Léon Chafik är osäkerheten kring AMOC stor. Många studier bygger på modellsimuleringar eller kortare tidspe-rioder av mätningar från enstaka platser i Atlanten, vilket kan ge en direkt vilsele-dande bild.

– AMOC är ett system som varierar mycket, från dag till dag, från månad till månad och från år till år. Det gör det svårt att dra slutsatser om långsiktiga trender, säger han.

Geografin spelar också en stor roll. Det räcker inte med att mäta på en plats eller bara på ytan. Man måste mäta från ytan till botten och från kust till kust, och det under en lång tid. Sedan 2004 har man gjort mätningar mellan Florida och Afrika, men det är först från 2014 som det finns-mätdata från våra breddgrader.

Nyligen använde Léon Chafik och hans kollegor IPCC:s senaste klimatmodeller på de nordligare delarna av AMOC och fick ett något överraskande resultat: Strömsys-temet verkade förbli stabilt och kunde till och med förstärkas i en varmare värld.

– Kanske klarar AMOC mycket mer än vad vi tror. Men återigen, modellerna blir inte bättre än de mätdata man förser dem med. Om 10–20 år kommer de antagligen att vara mer realistiska och bättre på att fånga upp småskaliga processer som kan vara viktiga i sammanhanget.

## Inte som på film

Så, är det obefogat att oroa sig? Nej, menar Léon Chafik, men vi behöver en mer nyanserad bild.

– Av alla klimatets så kallade tip-ping points är AMOC den mest osäkra. Det

### FAKTA

## AMOC – Atlantens gigantiska strömsystem

AMOC (Atlantic Meridional Overturning Circulation) är ett system av havsströmmar i Atlanten som påverkar klimatet globalt. Det fungerar som ett enormt transportband, där varmt ytvatten från tropikerna rör sig norrut mot Europa, medan kallt och salt vatten sjunker och strömmar tillbaka söderut på större djup. Detta system hjälper till att hålla klimatet i norra Europa mildare än på motsvarande breddgrader i andra delar av världen.

AMOC drivs av skillnader i temperatur och salthalt, vilket skapar cirkulationen av vatten. Men klimatförändringar och smältande isar kan störa denna balans. När is smälter, exempelvis på Grönland, tillförs stora mängder sötvatten till havet, vilket gör det svårare för det kalla, salta vattnet att sjunka. Detta skulle kunna bromsa eller till och med stoppa AMOC, vilket kan få allvarliga konsekvenser för klimatet, såsom kallare vintrar i Europa.

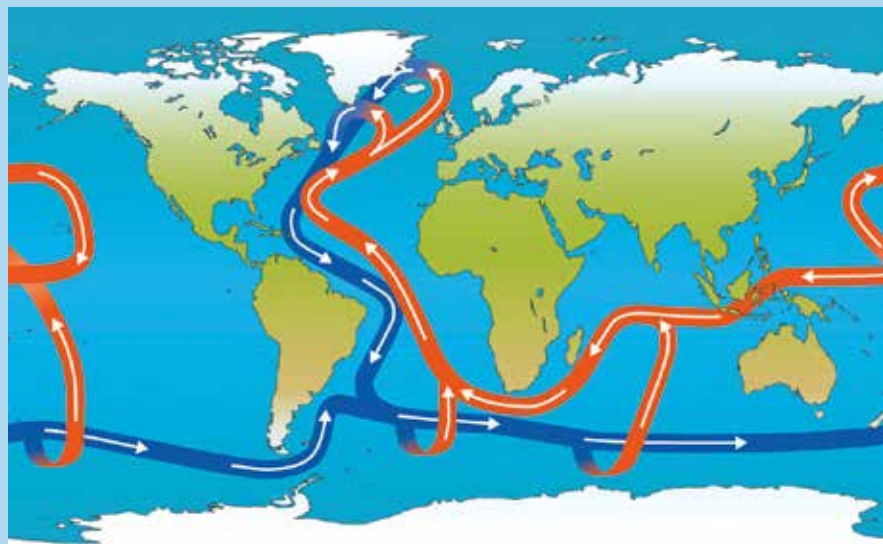


ILLUSTRATION: CLIMATE.METOFFICE.CLOUD/AMOC

beror helt enkelt på att det saknas direkta mätningar över lång tid.

IPCC bedömer att AMOC troligen kommer att avmattas under detta sekel, men en total kollaps anses osannolik. Léon Chafik betonar att även om en kollaps skulle inträffa, är det något som sker över mycket långa tidsperioder. Det är inte som i filmen *The Day After Tomorrow*, där en ny istid plötsligt lamslår världen. Att det ändå är de mest pessimistiska rapporterna om Golfströmmen som får störst uppmärksamhet tror han beror på flera saker.

– Det blir bra rubriker. Bilden av en ny istid är något som fastnar, särskilt hos oss i Skandinavien. Och de tänkbara konsekvenserna är ju väldigt stora. Oavsett om det skulle ske en kollaps eller en mildare avmattning kan det påverka inte bara klimatet här hos oss, utan även globala nederbördsmonster och havens för-måga att ta upp koldioxid. Och det är just därför som det är så viktigt att ha mät-ningar på plats, så att man kan identifiera tidiga tecken på att det börjar ske en för-svagning.

## Mer akuta klimatproblem

Även om tanken på en försvagad AMOC skrämmar många så vill Léon Chafik påminna om att det finns andra klimatproblem som är mer akuta och som vi redan nu kan förbereda oss på: extrem-väder, stigande havsnivåer, värmeböljor både på land och i haven.

– Redan idag är klimatförändringarna vardag på många platser i världen. Det är problem som är verkliga och som vi måste hantera här och nu, till skillnad från en potentiell kollaps av Golfströmmen.

TEXT:

Per Adolfsson, redaktionen

## Koraller i fara

När världshaven fortsätter att värmas upp blir korallblekning mer frekvent och allvarlig. FN:s klimatpanel IPCC har konstaterat att 70 procent av korallreven riskerar att dö om Parisavtalets 1,5-gradersmål inte nås. Vid över 2 graders uppvärmning riskerar 99 procent av dem att gå förlorade.



FOTO: V. ARKK/SHUTTERSTOCK

## Svensk segeldrönare spanar efter fisk i Kanada

De stora havsfågelkolonierna i norra Hudson Bay avslöjar att det finns gott om fisk under vattenytan. Men relativt lite är känt om de här arktiska fiskbestånden. I somras utfördes för första gången vetenskapliga undersökningar av dem, när forskare från Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) åkte dit med sin segeldrönare. Segeldrönaren är en fjärrstyrd segelbåt utrustad med ett avancerat ekolod som undersöker fiskstimmen därunder.



FOTO: JONAS HENTATI SUNDBERG



## Robot undersökte glaciärens undersida

FOTO: FILIP STEDT

Med hjälp av en undervattensrobot har forskare för första gången lyckats kartlägga undersidan av en flytande glaciär i Antarktis. Under 27 dagar kördes roboten fram och tillbaka under isen i en miljö som ingen tidigare sett.

– Det är lite som att få se månens baksida, säger Anna Wåhlin vid Göteborgs universitet, som ledde studien.

## Mer tungmetaller i framtida hav

Klimatförändringarna kommer att göra att vissa kustområden förlorar sin förmåga att binda och begrava tungmetaller som når kusten via bland annat grundvatten. I stället kan en högre andel av metallerna tas upp av levande organismer. Forskare försöker nu förutse vilka områden som kan bli värst drabbade.



FOTO: MARTIN JAKOBSSON

## BLOGG FRÅN ARKTIS

Expeditionen "North of Greenland" pågick under augusti och September 2024. Under hela expeditionen bloggade deltagarna, och delade med sig av äventyr och fantastiska naturupplevelser.

Läs bloggen på <https://www.polar.se/expeditioner/north-of-greenland-2024/>



## Rekordnordlig narval

FOTO: HENRY HARRISON/SHUTTERSTOCK

Den nordligaste observationen av narval någonsin på Grönland gjordes av expeditionen "North of Greenland" i augusti 2024. Narvalen upptäcktes från en helikopter vid rekognosering av isläget.

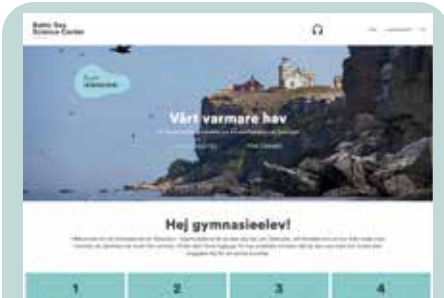
## Värmebölja i Östersjön

Temperaturerna i Östersjön var exceptionellt höga under lång tid i somras. Grundorsaken är klimatförändringarna enligt Ola Carlén, SMHI. Långvariga värmeböljor kan få förödande konsekvenser för det marina ekosystemet.



FOTO: REGINA M ART/SHUTTERSTOCK

# Så funkar det!



## Läroportal för gymnasiet: Vårt varmare hav

**VÅRT VARMARE HAV** är en kostnadsfri läroportal för gymnasiet om klimateffekterna på Östersjön. Innehållet baseras på ny forskning, och presenteras med texter, bilder, filmer och quiz. Här finns även tips på övningar och laborationer, och hur eleverna själva kan delta i forskningen. Innehållet har tagits fram av Baltic Sea Science Center på Skansen i samarbete med Sveriges lantbruksuniversitet (SLU).



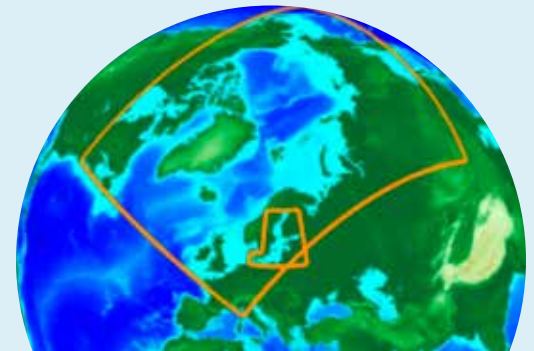
## Boktips: Planktonet Prillis och syrefabriken

Gusse är ute och simmar med sitt cyklop och träffar Planktonet Prillis. Gusse vet att man måste skydda sig från solen och undrar hur planktonen i havet gör – de har ju ingen solkräm! Då berättar Prillis något spännande ... Visste du att det finns en syrefabrik under vattnet? Och vad betyder egentligen fotosyntes?

Planktonet Prillis och syrefabriken är en pedagogisk bilderbok för barn i förskoleåldern och för de lägre åren i grundskolan. Texten är skriven av Nils Ekelund, professor i växtfysiologi med huvudinriktning på miljö- och klimatpåverkan i havet.

Här berättar vi om olika tekniska manicker, metoder och lösningar som hjälper havsforskarna i deras arbete.

## KLIMAT-MODELLER



### Vad är det?

En klimatmodell försöker på matematisk väg efterlikna och beräkna de krafter som styr och påverkar jordens temperatur. I dessa ingår processer i atmosfären, i havet och vid jordytan, som vattenströmmar, vindar, solinstrålning och nederbörd. Avancerade modeller kan även ta hänsyn till förändringar i till exempel växtlighet eller hur kemikalier rör sig mellan luft, land och vatten. Det finns många olika klimatmodeller, som alla har sina styrkor och svagheter. När man ska räkna fram ett framtidsscenario används därför ofta flera olika klimatmodeller, och resultatet presenteras som ett medelvärde av dessa.

### Hur fungerar det?

Jordklotet delas först in i ett tredimensionellt rutnät, bestående av så kallade "gridboxar". Rutnätet inkluderar atmosfären, isar, sjöar, hav och markytan. Hur finmaskigt rutnät man använder påverkar noggrannheten i beräkningarna, ju mindre rutor desto mer precisa svar. Dock är beräkningarna extremt tunga och för att hålla ner datamängden används ofta ett relativt gles rutnät i glo-

bala modeller, där varje sida i en box är 100–300 km. Ändå tar det exempelvis två veckor för en superdator att beräkna klimatutvecklingen för kommande 150 år med SMHI:s globala modell EC-Earth. Nya resultat från forskning och miljöövervakning används för att hela tiden förbättra modellerna och göra dem mer exakta.

### Varför?

Klimatmodellerna används för att ta fram klimatscenario. Hur ser klimatet ut om 100 år med dagens industriella utveckling? Vad händer om vi ökar eller minskar utsläppen från fossila bränslen? De svar som klimatmodellerna ger kan sedan ligga till grund för politiska beslut, till exempel för att sätta klimatmål och stifta lagar. De kan även användas för att förebygga klimatrelaterade samhällsproblem, till exempel för att förutspå om städer måste skyddas mot höjda havsvattennivåer, eller om vattenförsörjningen måste säkras i ett område vid risk för längre perioder av torka.

Källa: SMHI

# Våra viktiga sjögräsängar – tusenåriga kolsänkor

Svenska sjögräsängar är viktiga naturliga kolsänkor, och forskning visar att de kontinuerligt har lagrat kol under flera tusen år. De stora kollager som byggts upp där kan emellertid lätt rubbas och kolet frisättas till atmosfären igen om sjögräsängen störs. Därför är skydd av sjögräsängar en mycket effektiv klimatåtgärd.



Provtagning av sedimentkärna i en ålgräsäng i Gullmarsfjorden i Bohuslän.

**S**jögräsängar är en av de viktigaste marina kolsänkor globalt genom sin förmåga att binda koldioxid från atmosfären och lagra kolet i det underliggande sedimentet. I Sverige är den vanligaste sjögräsarten ålgräs (*Zostera marina*). Ålgräs växer utmed stora delar av vår kust, från Bohuslän till Stockholms norra skärgård. Friska ålgräsängar binder genom fotosyntesen kontinuerligt in koldioxid, som byggs upp till organiskt kol som i sin tur bygger upp ålgräsplantorna. När ålgräset tappar sina blad eller dör så hamnar de i bottensedimentet där de tillsammans med annat organiskt material bidrar till att bygga upp de rika kollagren.

Ålgräsängarna är också effektiva vattenfilter som fångar in organiskt material från land och omkringliggande miljöer, vilket kan utgöra över hälften av allt kol som lagras i ålgräsängarnas sediment. När stora mängder organiskt material ansamlas på detta sätt leder det till syrebrist, vilket bromsar nedbrytningen från bakterier och andra mikroorganismer. Det här i sin tur gör att mycket av kolet stannar kvar i sedimentet. Denna process utgör grunden för kolinlagring i marina kustsediment, och om dessa förblir ostörda kan processen pågå i tusentals år och bygga upp djupa sedimentlager. I en av våra studier kunde vi se hur kolonisering av ålgräs för 2000 år sedan ledde till att kolhalten i sedimentet blev upp till 20 gånger högre.

## Hotat sjögräs

Sjögräsängar hotas av en rad olika miljöproblem, vilket kan påverka det lagrade kolet i sedimentet antingen direkt eller indirekt. En direkt störning är exempelvis anläggning av en hamn där sjögräset tillsammans med underliggande sediment grävs ut, vilket leder till en direkt frisättning av det lagrade kolet. En indirekt störning kan vara till exempel övergödning eller överfiske som skapar obalans i näringssvaven vilket leder till ökad påväxt av

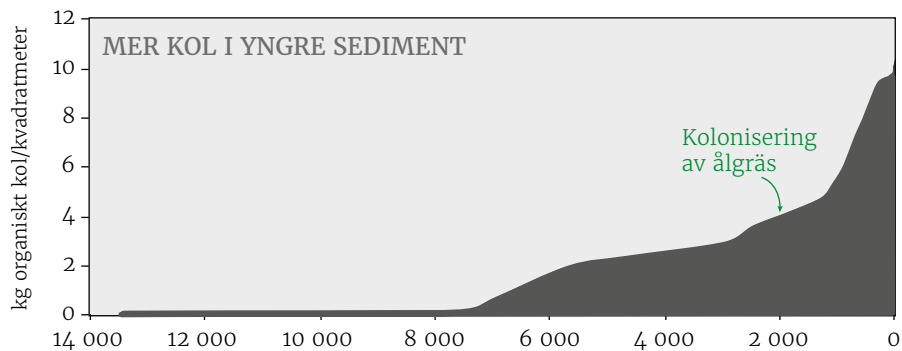
FOTO: MARIA E. ASPLUND, GÖTEBORGS UNIVERSITET

fintrådiga alger som kväver sjögräset. Indirekta störningar kan leda till att sjögräsängen får sämre motståndskraft mot vågrörelser och får svårare att hålla sedimentet på plats. Det kol som har lagrats riskerar då att frisättas igen.

I Sverige har utbredningen av ålgräsängar minskat under de senaste årtiondena, främst på grund av indirekta störningar. Det har lett till att ålgräset helt har försvunnit i vissa områden, och därför är arten idag klassad som sårbar i Art-databankens rödlista. Pågående restaureringsprojekt har visat att det är svårt, tidskrävande och dyrt att få tillbaka ålgräset när det väl har försvunnit. När ålgräsängar försvinner minskar dessutom inte bara dess möjlighet att binda koldioxid från atmosfären; de stora mängder kol som redan lagrats riskerar också att frisättas till atmosfären i form av koldioxid. Om detta sker kan en ålgräsäng gå från att vara en kolsänka till att vara en kolkälla, med ökade växthusgasutsläpp som följd.

## Bevarande viktigast

I nya studier från Bohuslän ser vi att ålgräsängarna har lagrat stora mängder kol och under en mycket lång tid, upp till 2000 år. Det är därför viktigt att bevara de sjögräsängar som finns idag för att inte förstöra dessa tusenåriga kollager. Forskning visar även att det kan ta lång tid efter restaurering eller återkolonisering innan kollagren återigen börjar byggas upp. Ett starkt skydd som skapar förutsättningar för friska sjögräsmiljöer är därför en mer



**Kolonisering av ålgräs för cirka 2000 år sedan i ett område som tidigare saknade vegetation ledde till en betydande ökning av lagrat kol i sedimentet. Diagrammet visar den sammanlagda kolhalten i sedimentet.**

effektiv klimatåtgärd än återställande av tidigare sjögräsängar.

Restaurering är dock viktig i de områden där sjögräset redan försvunnit. Studier som dessa i Bohuslän, som ger en historisk bild över hur sjögräsängar en gång koloniserade kusten, kan hjälpa pågående förvaltningsåtgärder genom att visa vilka förutsättningar som ledde till naturlig kolonisering av sjögräsängar, både gällande omkringliggande miljö och sedimentets egenskaper.

## Många ekosystemtjänster

Ett bevarande av våra kvarvarande friska sjögräsängar kommer att leda till bibehållandet av en rad olika ekosystemtjänster utöver kollagring, då sjögräsängar också bidrar till upptag av näringsämnen, förbättrad vattenkvalitet, ökad biodiversitet, skydd av viktiga lekområden för fisk, filtrering av miljögifter och mikroplaster samt minskad kusterosion.

För att ålgräsängarna ska bibehålla sin kolsänkefunktion och andra viktiga ekosystemtjänster behövs mer forskning om vilka hot, både nu och i framtiden, som dessa viktiga miljöer står inför, och vad en minskad utbredning av ålgräs får för konsekvenser. Den typen av kunskap är viktig för en framgångsrik förvaltning av kustområden, där bevarande av ålgräsängar är en effektiv klimatåtgärd.

### TEXT OCH KONTAKT

Martin Dahl och Martin Gullström, Institutionen för naturvetenskap, miljö och teknik, Södertörns högskola

[martin.dahl@sh.se](mailto:martin.dahl@sh.se)

### LÄS MER:

Friska sjögräsängar motverkar klimatförändringar. Havet 2015/2016.

Marina kolsänkor livsviktiga för ekosystem och klimat. Sveriges vattenmiljö.

### FAKTA

## Pågående projekt

Vi har för närvarande tre pågående forskningsprojekt om kollagring längs våra kuster. Dessa är finansierade av Östersjöstiftelsen och Formas, och sker i samarbete med flera universitet i Sverige och andra länder. I projekten undersöks dels hur kollagringskapaciteten varierar i olika typer av kustmiljöer i Östersjöområdet, och dels hur kol- och kvävelagring påverkats historiskt och kommer att påverkas i framtiden av klimatförändringar och förändringar i markanvändning. Ett övergripande syfte med projekten är att förstå den geografiska utbredningen av kollagring och identifiera områden med stor kapacitet för lagring av kol (så kallade "hotspots") samt att förstå hur kol- och kvävelagring kan förändras över tid beroende på klimatet och människans påverkan.

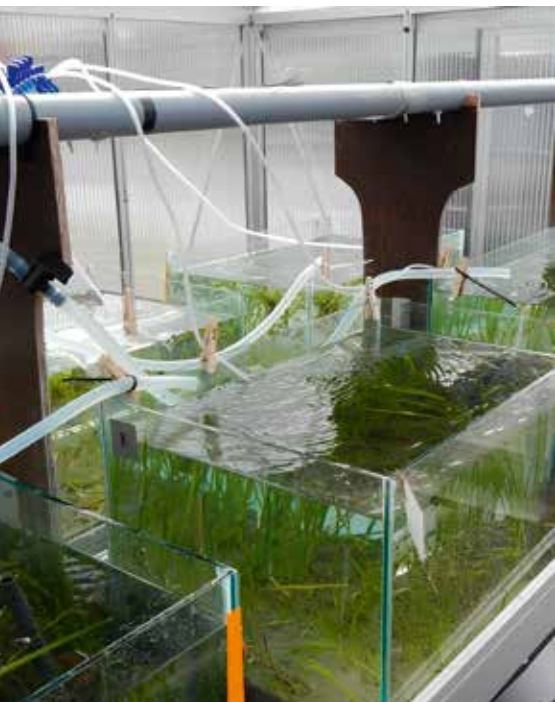


FOTO: MARIA E. ASPLUND, GÖTEBORGS UNIVERSITET

# Kustmiljöer i

*Minns du värmeböljan år 2018? Märkte du att senare års översvämningar i inlandet följdes av ett utsötat ytskikt i havet? På senare år har de svenska kustvattnen visat tecken på stora klimatrelaterade förändringar. Nu försöker vi förstå vad det innebär för ekosystemet och dess invånare.*

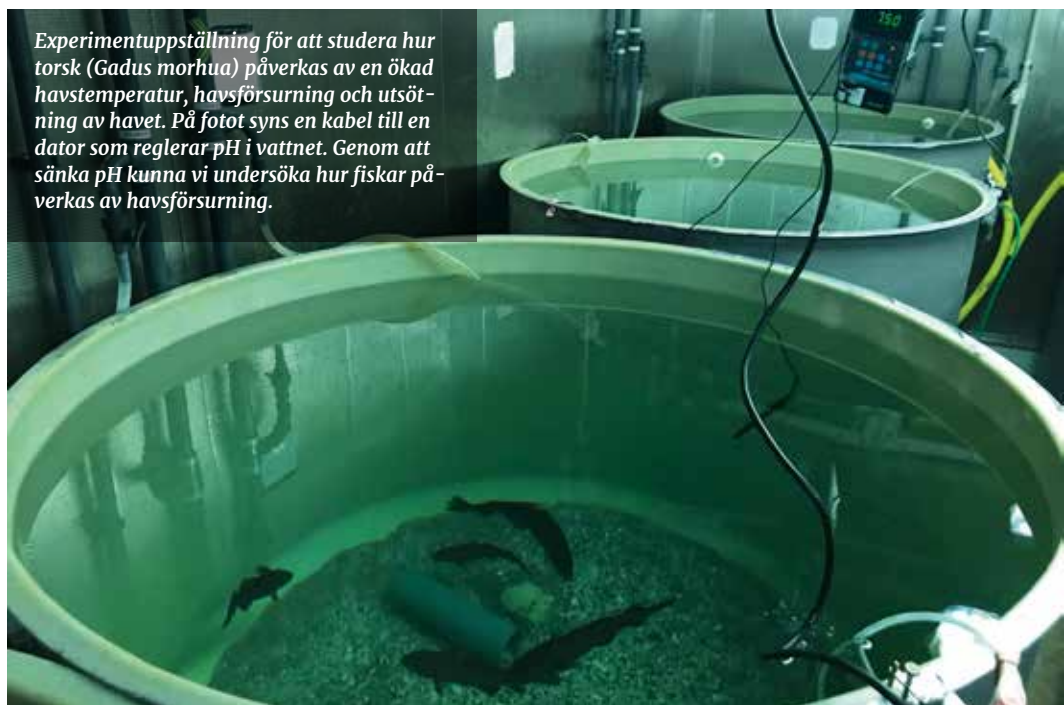
*Experimentuppställning i laboratorium med akvarier som innehåller ålgräs (*Zostera marina*), två arter av räkor (*Palaemon adspersus* och *Palaemon elegans*) och fisken storspigg (*Gasterosteus aculeatus*). Här studerade vi effekterna av marina värmeböljor, havsförsurning (lägre pH) och stormhändelser (som orsakar grumligt vatten).*



**V**åra kustmiljöer förändras ständigt. Men med klimatförändringarna kan förutsättningarna skifta så snabbt och så kraftigt att ekosystemen inte hänger med. I grunda havsmiljöer ser vi de snabbaste klimatrelaterade förändringarna. Längs den svenska Skagerrakkusten ökar vintertemperaturen fyra gånger snabbare än genomsnittet i världens hav. Detta har lett till en ökad förekomst av marina värmeböljor och stormar under de senaste decennierna. Dessutom förändras kustvattnens kemi av det ökade tillflödet av sötvatten. Salthalten utmed västkusten har visat sig sjunka över tid och enligt SMHI:s modeller lär trenden fortsätta.

De klimatrelaterade förändringarna sker samtidigt som ekosystemen utsätts för överfiske, övergödning och exploatering som har stor negativ påverkan på grunda bottnar. Därtill kommer föroreningar, buller och invasiva arter. Den sammanlagda effekten av allt detta är vad som måste hanteras i förvaltningen.

*Experimentuppställning för att studera hur torsk (*Gadus morhua*) påverkas av en ökad havstemperatur, havsförsurning och utsötning av havet. På fotot syns en kabel till en dator som reglerar pH i vattnet. Genom att sänka pH kunna vi undersöka hur fiskar påverkas av havsförsurning.*



## Kunskap behövs

Marina ekosystem är sammanlänkade vävar som påverkas såväl genom vattenrörelser och kemi som genom samspelet mellan arter. Om en art som är känslig för klimatförändringar försvinner kan det förändra rovdjurs-bytesförhållandena på ett sätt som leder till oanade effekter i hela ekosystemet. Ringarna på vattnet blir större och större. Att förstå hur arter och slutligen hela ekosystem reagerar på alla samverkande störningar och förändringar är viktigt för de förvaltare som har till uppgift att utforma förvaltningsåtgärder. Om du vet ungefär vad du kan förvänta dig, kan du vara mer förberedd.

Genom en serie experiment har vi studerat hur olika fiskarter, räkor och sjögräs påverkas av klimatrelaterad miljöpåverkan där flera parametrar förändras samtidigt. Orsakar kombinationen av förändringar en större fysiologisk stress än förändringarna var för sig? Det enkla svaret är ja!

## Studier i akvarier

Hur kan vi studera effekterna av vad som väntar i framtiden? Ett sätt är att utgå från modeller över hur utsläppen kom-



# förändring

mer att se ut, och hur dessa i sin tur kommer att påverka våra hav. Sedan försöker vi i akvarier efterlikna de här modellerade förändringarna. I akvarierna får olika organismer genomgå "multistress-experiment", där vi simulerar värmeböljor, förändrad salthalt, stormar, havsförsurning och andra stressfaktorer. Organismerna utsätts dels för stressfaktorerna en och en, och dels för flera eller alla tillsammans.

Men hur kan vi avgöra om organismerna faktiskt har upplevt stress? Tillvägagångssätten är många och inkluderar till exempel att mäta hormonbalans, hur mycket syre en individ förbrukar när den andas, förändringar i ämnesomsättningen, eller om stress har minskat artens immunförsvar.

## Arter påverkas olika

De olika arterna reagerar på olika sätt, där vissa miljöförändringar är lätta att hantera medan andra är svårare. Men den generella bilden är att när många förändringar sker samtidigt blir det svårt för alla de arter vi har studerat. Våra studier visar att den kombinerade effekten av stormar,

värmeböljor och havsförsurning påverkar tillväxten av ålgräs (*Zostera marina*) mer negativt än summan av de enskilda förändringarna. Tångräkorna *Palaemon adspersus* och *Palaemon elegans* får ett svagare immunförsvar av den här kombinerade effekten, vilket gör det svårare för dem att bekämpa sjukdomar. Hos storspigg (*Gasterosteus aculeatus*) är det ämnesomsättningen som påverkas negativt.

Resultaten visar också att arter som vi tror är relativt motståndskraftiga mot stora miljöförändringar, som till exempel fisken stensnultra, *Ctenolabrus rupestris*, i själva verket är väldigt känsliga för marina värmeböljor. Detta särskilt när värmeböljorna sker samtidigt som vattnet är utsötat och pH-värdet minskar.

Inte nog med det, vi fann även att den genetiska strukturen hos torsk (*Gadus morhua*) påverkar hur den reagerar på klimatförändringar. De torskarna som fötts i Kattegatt för att sedan vandra upp längs västkusten var mer toleranta än de som hade sitt ursprung i Nordsjön.

## Värna våra kustmiljöer

Så vad betyder detta för våra kustområden i framtiden? Jo, det betyder att vi nu vet att många arter som lever här är känsliga för de förändringar som sker, och för vad som kan väntas i framtiden. Det gör det än viktigare att vi tar hand om våra kustvatten och inte försämrar deras livsmiljöer i onödan. Vi måste till exempel noga överväga riskerna när vi planerar vår fiskeverksamhet så att vi inte tar ut mer fisk än ett stort system kan hantera. Endast då ger vi de kustnära ekosystemen en så god chans som möjligt att anpassa sig till framtidens förändringar.

### TEXT OCH KONTAKT

Diana Hammar Perry, Institutionen för akvatiska resurser, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), och Martin Gullström, Institutionen för naturvetenskap, miljö och teknik, Södertörns högskola  
diana.perry@slu.se

### LÄS MER:

Global environmental changes negatively impact temperate seagrass ecosystems. *Ecosphere* 2019.

The heat is on: sensitivity of goldsinny wrasse to global climate change. *Conserv. Physiol.* 2024.

Respirometriska kamrar som används för att studera fiskars syreförbrukning. Dessa kamrar är utrustade med en mycket känslig syrgassond som mäter hur mycket syre fiskar andas in från havsvattnet. Detta är en väletablerad metod för att studera stress hos djur.



Stensnultra (*Ctenolabrus rupestris*) är en vanlig fiskart i kustområden längs den svenska västkusten. Vår forskning visar att denna art kommer att påverkas mycket negativt av klimatförändringar och den kombination av stressfaktorer som vi studerade och som förväntas i regionen i framtiden.

Inom samarbetet CoastClim genomför forskarna många provtagningar av vatten, luft och sediment för att förstå flödena av växthusgaser. Provtagningar med R/V Electra i Tvärminne skärgård i Finland visade att mycket av det metan som når vattenytan härstammar från bubblor.

# Östersjöns kuster kan vara "hotspots" för metan

*Kusterna spelar en viktig roll för klimatet genom att koldioxid från luften tas upp av vegetation på bottenarna. Men när växter, alger och djur bryts ner kan det också bildas metan som är en kraftfull växthusgas. Övergödning, syrebrist och den låga salthalten gör att delar av Östersjöns kuster kan vara "hotspots" för metangaser till atmosfären.*



*I bottensedimentens porvatten kan metanbubblor bildas och släppas ut i vattenmassan ovanför.*

FOTO: THOMAS STRÖMSNÄS

**M**etan är en kortlivad men mycket kraftig växthusgas, som på kort sikt (20 år) påverkar klimatet mer än 80 gånger mer än koldioxid. För att begränsa den globala uppvärmningen har världens länder satt upp specifika mål för att minska utsläppen av metan. Samtidigt finns det stora kunskapsluckor när det gäller var det metan som finns i atmosfären kommer ifrån, vilket försvårar åtgärder.

## Kol tas upp i kustmiljöer

Vegetationen i ostörda kustmiljöer kan ta upp och binda in stora mängder koldioxid från atmosfären. Att skydda och restaurera sådana miljöer kan därför vara ett sätt att bromsa klimatförändringarna. Men i beräkningar av kustmiljöernas klimatnytta förbises ofta en viktig aspekt: att dessa miljöer också avger metan. Största delen av Östersjön saknar dessutom bottenvegetation av naturliga orsaker, så för dessa områden är det ännu viktigare att inkludera metanutsläppen i beräkningar av de totala växthusgasflödena.

Metan bildas när organiskt material bryts ner under vissa förhållanden, framför allt då det saknas syre. Det kan ske i magen på idisslande djur eller när mänskligt avfall hanteras, men också i naturliga miljöer som våtmarker, sjöar och hav. Omkring tre fjärdedelar av det metan som avges från haven beräknas komma från kusterna, trots att de utgör en betydligt mindre del av ytan. Vår forskning visar att Östersjöns kuster kan vara särskilt kraftiga metankällor, beroende på den låga salthalten och på övergödningen, och att dessa metanutsläpp ofta saknas i beräkningarna av växthusgasutsläppen.

## Stora variationer

I en omfattande studie mätte vi uppdrag och utsläpp av växthusgaser under ett helt år utanför Stockholms universitets forskningsstation Askölaboratoriet i Trosa skärgård. Studien visade att det finns mycket stora variationer när det gäller upptag och utsläpp av växthusgaser.

Även i områden med vegetation så motsvarade metanutsläppen ungefär hälften av koldioxidupptaget från atmosfären. Sett över ett helt år avgavs mellan 0,3 och 0,6 gram metan per kvadratmeter. Om

dessa mätningar skulle vara representativa för hela den svenska kusten så skulle det avges omkring 30 000 ton metan årligen från det svenska territorialvattnet, vilket motsvarar 2,5 miljoner ton koldioxidequivaler på 20-årsskalen.

## Metan bildas i sedimenten

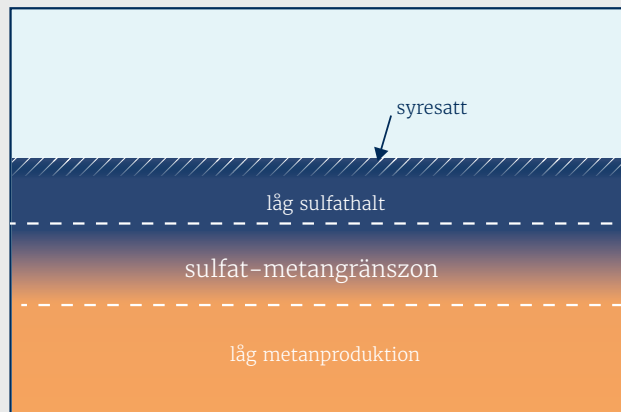
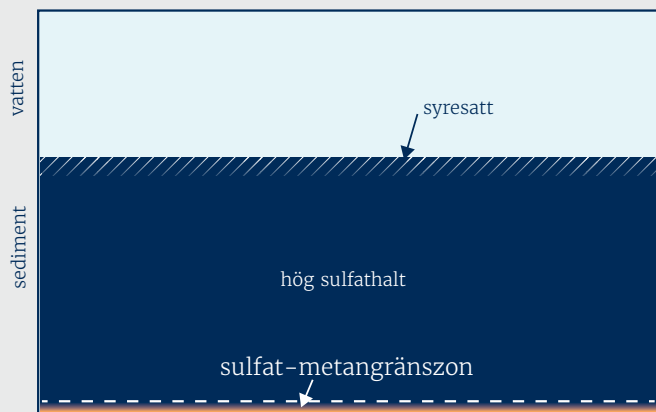
När växter, djur och alger som lever i havet dör sjunker de ner till botten, där de bryts ner av olika mikroorganismer, som bakterier och arkéer. Vilken slutprodukten blir beror på vilka andra ämnen som finns tillgängliga och vilka organismer som lever i miljön.

Om det finns syre vid botten så använder de nedbrytande bakterierna det i första hand och då bildas koldioxid. När syret tar slut fortsätter nedbrytningen med hjälp av andra ämnen, framför allt sulfat. Om även sulfatet har förbrukats tar metanbildande arkéer över nedbrytningen av organiskt material. Hur djupt ner under sedimentytan detta sker skiljer stort mellan olika områden, från några centimeter till många meter.

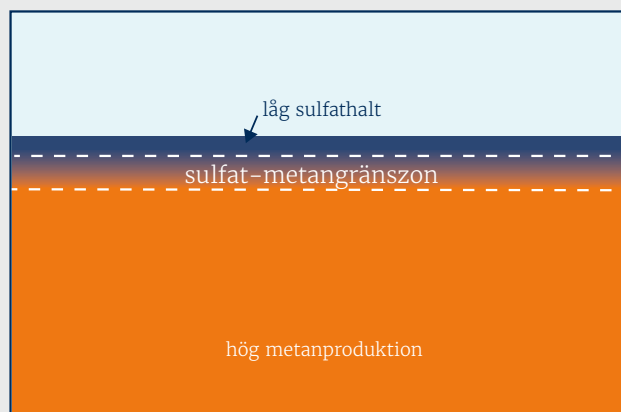
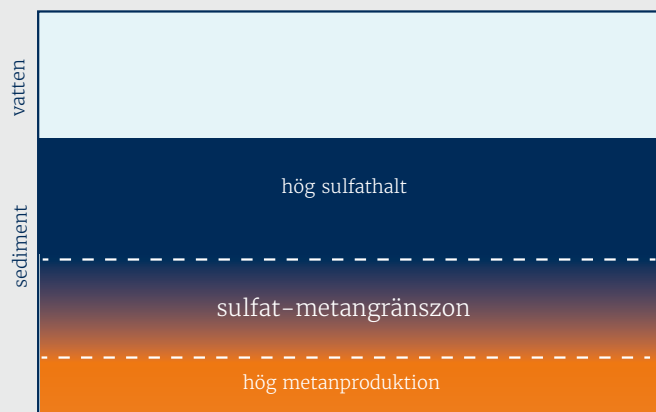
## VÄRLDSHAVEN

## ÖSTERSJÖN

Inte övergött

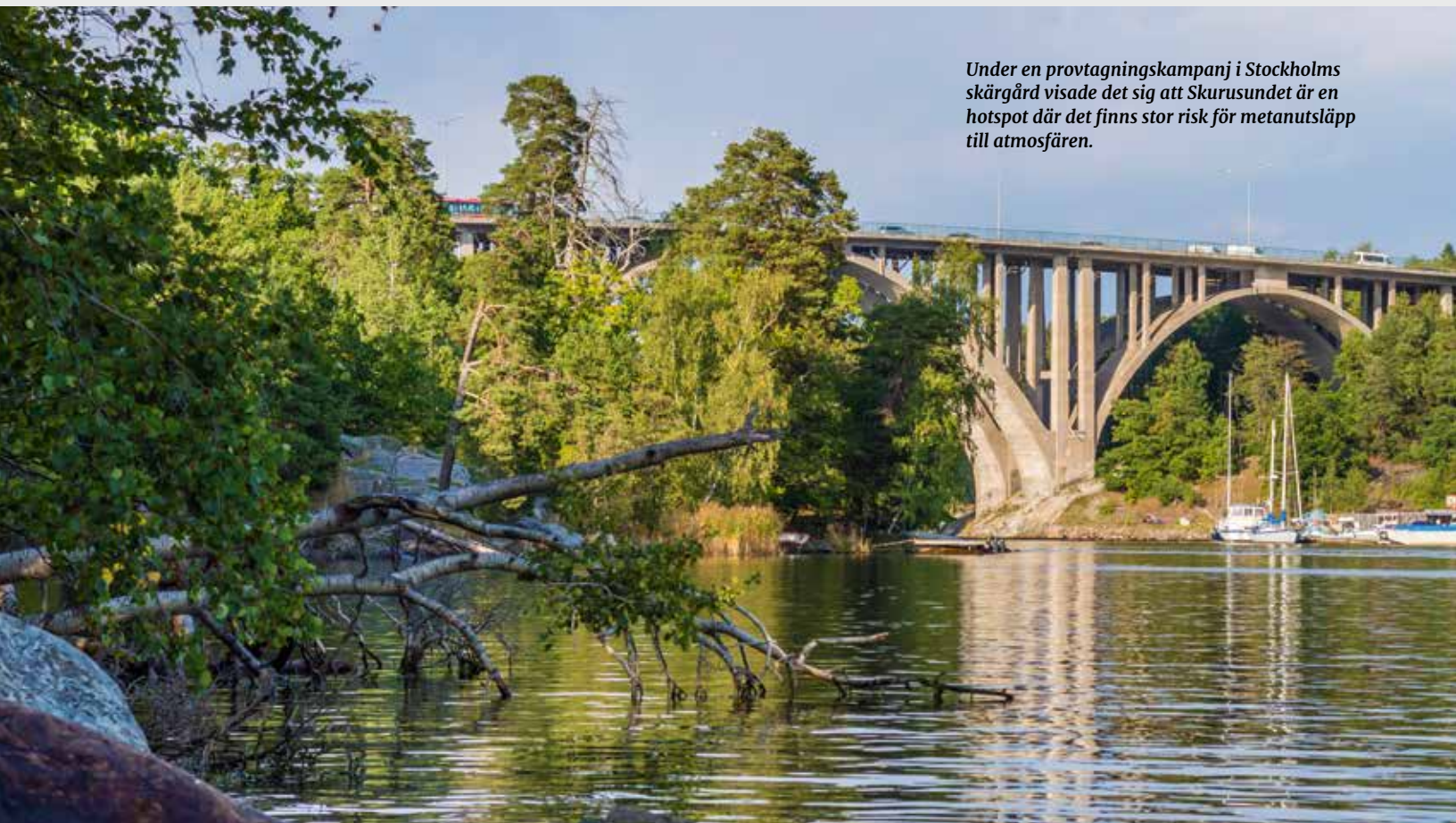


Övergött



*I världshaven finns mycket sulfat, vilket gör att metanproduktionen ofta sker många meter under sedimentytan och att metanet hindras från att nå vattnet. I Östersjön där sulfathalten är låg ligger den så kallade sulfat-metangränszonen närmare sedimentytan. Om vattnet dessutom är övergött produceras mer metan och gränsszonen trycks uppåt ytterligare. Risken är då stor att metanet når vattnet och även atmosfären.*

ILLUSTRATION: LISA BERGQVIST



*Under en provtagningskampanj i Stockholms skärgård visade det sig att Skurusundet är en hotspot där det finns stor risk för metanutsläpp till atmosfären.*

## Låg salthalt – mer metan

I sedimenten finns också mikroorganismer som använder sulfat för att bryta ner metan. Förekomsten av sulfat hindrar därför metanet från att nå upp till vattnet. Det område där vissa mikroorganismer bildar metan, samtidigt som andra bryter ner det med hjälp av sulfat kallas sulfat-metangränszonen. Sulfat är en av de viktigaste jonerna i saltvatten – ju saltare hav desto högre sulfatkoncentration.

I Östersjön finns mindre sulfat än i världshaven på grund av den låga salthalten. Det gör att sulfat-metangränszonen ligger grundare än på andra håll. Samtidigt är stora delar av Östersjön övergödda. Det har lett till syrebrist vid bottenarna på många platser, vilket gör att den sulfat som ändå finns förbrukas snabbt. När det också finns stora mängder organiskt material som ska brytas ner kan metanproduktionen både bli stor och ske nära sedimentytan. Från sådana här "hotspots" finns det stor risk för metanutsläpp till atmosfären.

Under en provtagningskampanj i Stockholms skärgård hittade vi flera hotspots för metanproduktion, bland annat i inloppet till Stockholm utanför Djurgården och i Skurusundet. Genom en serie mätningar av metanhalt i sedimenten, i ytvattnet och i luften kunde vi se att sulfat-metangränszonen låg nära

sedimentytan i de områden som var särskilt påverkade av övergödning och syrebrist. I dessa områden var också metanhaltarna i vattnet som högst.

## Två vägar till atmosfären

Metan som bildats i sedimenten kan färdas upp genom vattnet och nå atmosfären på två olika sätt. Antingen kan det lösta metanet diffundera upp genom vattnet. Den processen tar dock lång tid, och speciellt när vattnet är skiktat hinner mycket metan brytas ner av andra mikroorganismer i vattnet. När bottenvattnet och ytvattnet är separerade från varandra genom ett språngskikt fungerar nämligen skiktningen som ett lock som hindrar vattnet under språngskiktet från att blandas upp till ytan. Nästan allt löst metan blir då kvar i bottenvattnet där det bryts ner.

Om metanproduktionen är väldigt stor i ett område kan också metanbubblor bildas i sedimentens porvatten och släppas ut i vattenmassan ovanför. Bublorna rör sig mycket snabbare än löst metan upp mot ytan, och även om en del av dem löses upp på vägen så kan vissa nå atmosfären. Studier som vi har genomfört i Tvärminne skärgård i Finland visade att metanbubblorna kan ta sig upp genom vattnet även i skiktade områden. Mätningar i ytvattnet visade att så gott som all metan som

fanns där härstammade från bubblor som lösts upp.

Även vid provtagningarna i Stockholms skärgård visade analysen att en stor del av metanet i vattnet härstammade från bubblor. På vissa platser, bland annat i centrala Stockholm, kunde vi med hjälp av ekolod till och med se metanbubblor som lämnade havsbotten. Eftersom det är tämligen grunt i området är det troligt att en del av dessa bubblor når atmosfären och bidrar till den globala uppvärmningen.

Runt om i Östersjön finns många områden som liknar dem där vi har genomfört mätningar, med låg salthalt, syrebrist och stora mängder organiskt material. Förmodligen avges betydligt mer metan från dessa områden än vad man tidigare har trott. Att salthalten i Östersjön är låg är ett naturligt faktum, men övergödningen och syrebristen kan begränsas genom att minska näringstillförseln från land. Sådana åtgärder är inte bara bra för miljön i vattnet, utan också för klimatet.

---

### KONTAKT:

*Christoph Humborg, Stockholms universitetens Östersjöcentrum*

*christoph.humborg@su.se*



FOTO: ROLAND LUNDGREN/MOSTPHOTOS

### FAKTA

## CoastClim

Inom samarbetet CoastClim arbetar forskare i Finland och Sverige med att förstå hur Östersjöns kuster påverkas av klimatförändringarna, men också hur kusterna själva påverkar klimatet. Det kräver omfattande mätningar av växthusgaser i luft och i vatten i olika kustmiljöer, liksom mätningar av kol som finns bunden i vegetation och i havsbottens sediment. Läs mer: [www.coastclim.org](http://www.coastclim.org)

# Högre temperatur ökar sy

*Östersjön har stora problem med övergödning, som orsakar allt större områden med syrebrist. Men trots årtionden av åtgärder mot utsläppen av näring har syresituationen försämrats. Ny forskning visar att det är minst lika viktigt att hejda ökad temperatur på grund av klimatförändringarna för att förbättra syresituationen.*

**A**llt större del av Östersjön lider av syrebrist. Längre har man trott att övergödningen är den absolut viktigaste orsaken till de syrefria områdena. Därför har de åtgärder som satts in varit inriktade på att minska näringstillförseln. Men en ny översikt av kunskapsläget gällande reglering av syreförbrukningen visar att ökande temperatur är en minst lika viktig förklaring till de syrefria områdena.

## Temperaturen reglerar

En stor del av det syre som finns i vattnet förbrukas av bakterier i samband med att de bryter ner organiska kolföreningar. Om bakteriernas och andra organismers syreförbrukning blir för hög så kan det leda till syrebrist.

Bakterier använder organiska föreningar från det omgivande vattnet som kol- och energikälla. I Östersjön är halterna av

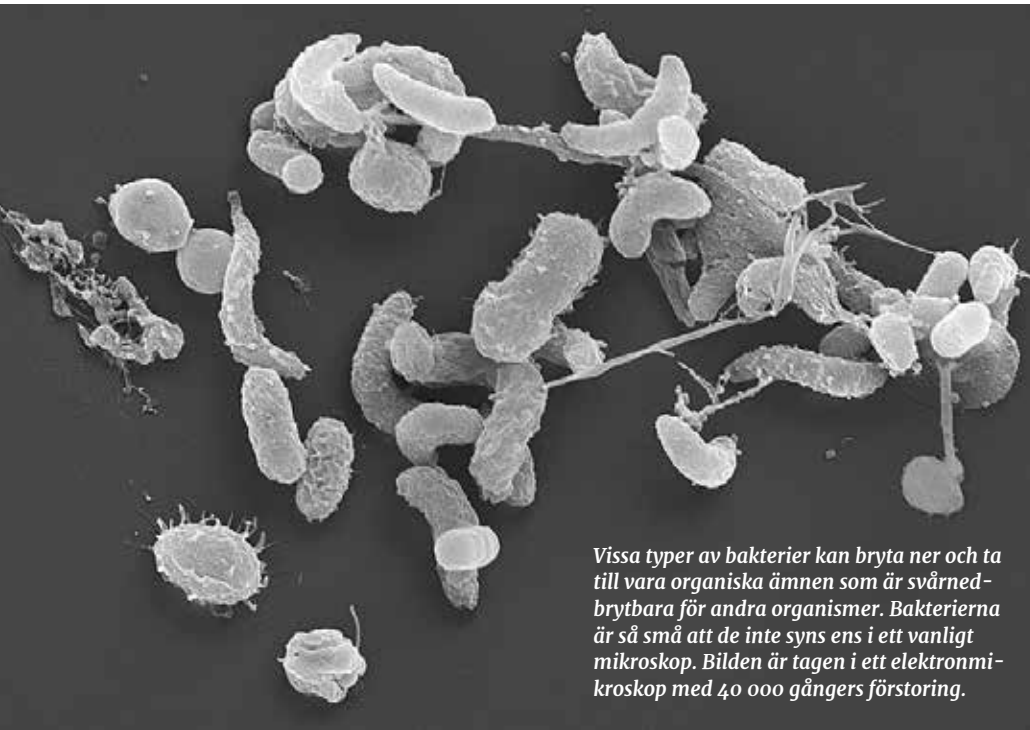
löst organiskt material fem gånger högre än i Atlanten, orsakat av både hög produktion av alger och tillförsel av organiskt material via älvvatten. Här är organiska kolföreningar alltså ingen bristvara för bakterierna. I stället verkar den ökande temperaturen kunna reglera hur mycket organiskt material och syre som bakterierna förbrukar. I takt med att temperaturen i Östersjöns djupvatten ökar så ökar därmed även bakteriernas syreförbrukning. Dessutom gör den ökande temperaturen att mindre syre kan vara löst i vattnet, vilket ytterligare förvärrar syresituationen.

Det räcker alltså inte att minska tillförseln av näringsämnen för att bättre syresätta Östersjön. Att snabbt minska utsläppen av temperaturhöjande växthusgaser är lika viktigt för att få en frisk och hållbar Östersjö.

*Ashish Verma, forskare vid Umeå universitet, mäter syreförbrukning i en glasflaska med havsvatten med hjälp av en syresensor. En doppkylare håller nere vattentemperaturen, så att mätningarna görs vid naturlig vattentemperatur.*



# reförbrukningen



Vissa typer av bakterier kan bryta ner och ta till vara organiska ämnen som är svårnedbrytbara för andra organismer. Bakterierna är så små att de inte syns ens i ett vanligt mikroskop. Bilden är tagen i ett elektronmikroskop med 40 000 gångers förstoring.

FOTO: ASHISH VERMA

## Viktigt att mäta

För att öka kunskapen om hur syreförbrukningen i Östersjön regleras bör man införa mätning av syreförbrukning i miljöövervakningen. Det skulle ge en möjlighet att på sikt få säkrare samband mellan syreförbrukning och reglerande faktorer såsom temperatur, organiskt material och näringsämnen. Här skulle långa ekologiska tidsserier med mätningar av syreförbrukning vara ovärderliga.

### TEXT OCH KONTAKT

Johan Wikner, Institutionen för ekologi, miljö och geovetenskap, Umeå universitet  
johan.wikner@umu.se

### LÄSTIPS

*A Regime Shift Toward a More Anoxic Environment in a Eutrophic Sea in Northern Europe. Frontiers in Marine Science. Frontiers in Marine Science 2021.*

*Regulation of Marine Plankton Respiration: A test of models. Frontiers in Marine Science 2023.*

### FAKTA

## Syreförbrukning för energiförsörjning

Bakteriernas energikälla är organiskt material. De får ut energin genom att oxidera materialet, vilket kräver syre. Det organiska materialet är till viss del en produkt av växtplanktonens fotosyntes, där enkla molekyler av koldioxid omvandlas till mer komplicerade organiska molekyler. En stor andel av det organiska materialet tillförs också via älvvatten som rinner ut i havet. Älvvattnet innehåller stora mängder svårnedbrytbara och väldigt kolrika ämnen. Dessa kan brytas ner av specialiserade bakterier, ibland med hjälp av solljus som bryter isär de komplicerade molekylerna. Bakteriernas energiproduktion och tillhörande syreförbrukning har en stor inverkan på utvecklingen av syrefria vatten och havsbottnar.

# Havet I love it

Fem snabba frågor om havet till forskaren Anna Gårdmark.



FOTO: JOSEFINE KARLSSON/SLU

### 1. VARFÖR FORSKAR DU OM HAVET?

Det är spännande, roligt och viktigt! Havet och dess ekosystem är grunden för livet på jorden, och vi människor utövar ett enormt tryck på havet. Vi är samtidigt helt beroende av levande hav.

### 2. BÄSTA MATEN FRÅN HAVET?

Stekt abborre är gott och lyxigt. Och algsalad är smaskigt snacks!

### 3. FAVORITBOK OM HAVET?

*Torsk* av Mark Kulansky var fängslande, och *Herr Gris i det Stora Blå* av Gitte Spee är en underbar bok.

### 4. FINASTE PLATSEN VID HAVET?

En klippa vid havet någonstans i världen, där vattnet klappar tårna och jag kan kika ner på allt vackert som lever under ytan.

### 5. KUNSKAP SOM SAKNAS OM HAVET?

Mycket, men två viktiga områden som behöver utvecklas är: 1. Hur näringsvävar i olika delar av havet förändras av klimatförändringarna på kort och lång sikt och hur vi därför behöver anpassa hur vi nyttjar haven. 2. Hur kan vi gå från att enbart anpassa oss till klimatförändringarna till att blå näringar – och förvaltningen av dem – också kan bidra till att lösa klimatkrisen?

Anna Gårdmark är professor i fiskekologi vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU). Hennes forskning handlar bland annat om hur fisksamhällen och näringsvävar påverkas av ett förändrat klimat.

# Art i fokus

## Den nordliga krillen – Atlantens lilla jätte

**KRILL ÄR SMÅ, RÅKLIKNANDE KRÄFTDJUR** som kan bilda enorma stim med miljontals individer. I världshaven finns 86 arter och dessa har anpassat sig till en rad olika miljöer, från de iskalla och näringsrika vattnen kring Arktis och Antarktis till varma men näringsfattiga vatten i tropikerna. Eftersom krill äter växtplankton eller mindre djurplankton och själva är livsviktig föda för rovdjur som valar, fiskar och sjöfåglar är de en avgörande länk i havets näringsvävar.

**DEN NORDLIGA KRILLEN** (*Meganyctiphanes norvegica*) lever i Nordatlanten och Medelhavet, inklusive längs den svenska västkusten. Den blir 3–4 cm lång. Matfiskar som sill, torsk och sej livnär sig på nordlig krill, vilket gör den viktig för vårt fiske och matförsörjning. Krillen är genomskinlig och har tio lysorgan (fotoforer) längs kroppen som kan lysa och blinka. Fotoforererna används troligen för kommunikation eller kamouflage genom så kallad "motskuggning". Krillen simmar upp till ytan på natten för att äta och sjunker till djupare vatten på dagen för att undvika rovdjur. Motskuggning kan hjälpa den att dölja sin siluett mot solljuset och undvika att bli upptäckt.

**DET ÄR VIKTIGT ATT FÖRSTÅ OM OCH HUR KRILLEN** kan anpassa sig till ett varmare hav. Många krillarter är känsliga för temperaturförändringar. Den antarktiska krillen lever exempelvis bara i vatten mellan  $-2^{\circ}\text{C}$  och  $+4^{\circ}\text{C}$ . Det är därför oroande att krillbestånden både i norr och söder snabbt minskar på grund av havsuppvärmningen. Om krillen försvinner kan det få katastrofala konsekvenser för hela det marina ekosystemet.

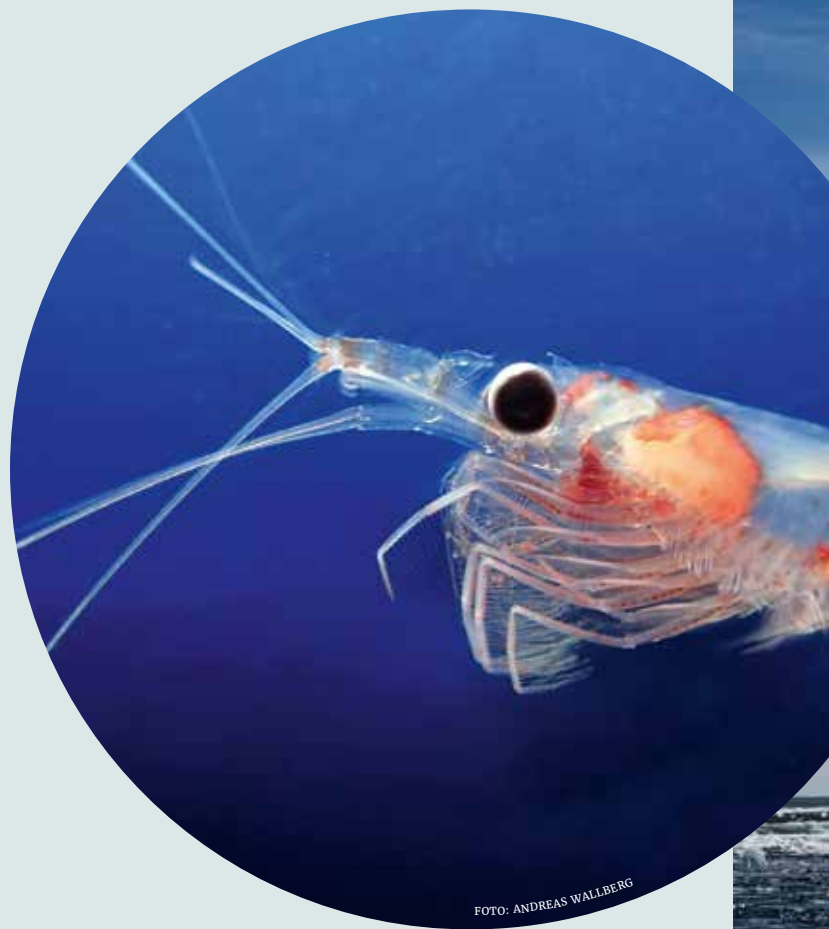


FOTO: ANDREAS WALLBERG

**I EN FÖRÄNDERLIG MILJÖ SKER** ständigt naturligt urval där de bäst genetiskt anpassade individerna har större chans att överleva och sprida sina gener. Hur mycket genetisk variation krillarter har är dåligt känt, men det kan avgöra deras anpassningsförmåga. Den nordliga krillen trivs i temperaturer från  $+2^{\circ}\text{C}$  till  $+15^{\circ}\text{C}$ , och är en utmärkt modell för att studera lokal anpassning och förstå vilka gener och funktioner som är viktiga för överlevnad när havet blir varmare.

**FORSKARE HAR VISAT** att genvarianter kopplade till ljuskänslighet, fortplantning och värmeterolerans har varit avgörande för överlevnad i olika klimat. Krill i Medelhavet har anpassat sig till att fortplanta sig tidigare på våren, medan de i Nordatlanten utvecklat mekanismer för att klara av kallare förhållanden. Kunskap om hur krill och andra marina arter kan anpassa sig till klimatförändringar kan bidra till att utforma strategier för att bevara havets genetiska och biologiska mångfald.

### TEXT & KONTAKT:

Andreas Wallberg, Uppsala universitet  
andreas.wallberg@imbim.uu.se