

## Havsförsurning ytterligare ett hot mot Östersjöns ekosystem

Havsförsurningen väntas de kommande decennierna bli påtaglig även i Östersjön. För det redan hårt pressade ekosystemet innebär det ytterligare en belastning. Den samlade effekten av försurningen och annan miljöpåverkan kan stressa arter och minska den biologiska mångfalden. För att skydda den unika miljön och den framtida matproduktionen krävs både kraftigt minskade koldioxidutsläpp och åtgärder mot övergödning, överfiske och utsläpp av farliga ämnen.

Att de stora utsläppen av växthusgaser leder till klimatförändringar och global uppvärmning är idag välkänt. Mindre uppmärksammat är det som kallas det andra koldioxidproblemet – försurningen av haven.

På 1980-talet var försurningen av sjöar och marker ett av de mest uppmärksammade miljöproblemen. Utsläpp av svavel- och kväveoxider i samband med förbränningsprocesser i exempelvis motorfordon, kraft- och värmeverk gav upphov till atmosfäriskt nedfall av svavel- och salpetersyra, populärt kallat "surt regn", som fick stora effekter på ekosystemen i sjöar och skogar. Kraftigt förbättrad rening av utsläppen under 1980- och 1990-talen i kombination med kalkning av sjöar och vattendrag har dock lett till att denna typ av försurning har minskat i Östersjöområdet.

De senaste åren har i stället en annan typ av försurning uppmärksamats – den globala havsförsurningen som orsakas av de massiva utsläppen av koldioxid. Hittills har havsförsurningen inte märkts lika tydligt i Östersjön som i de stora världshaven, men på sikt kommer effekterna att synas även här och ytterligare belasta ekosystemet i havet.

### REKOMMENDATIONER

- Öka ansträngningarna att nå de utsläppsmål för koldioxid som beslutats om globalt och på EU-nivå.
- Öka takten i åtgärdsarbetet för att minska näringstillförsel från land och därmed övergödning, överfiske och utsläpp av farliga ämnen.
- Verka för ett nationellt och internationellt förbud av utsläpp av skrubbevatten i havet, som lokalt kan leda till kraftig försurning, och stimulera framtagande av alternativa bränslen.
- Utvidga mätprogrammen för försurning i både tid och rum, och kombinera provtagningar av kemin i vattnet med biologiska observationer.
- Främja forskning om känsligheten hos Östersjöns arter och ekosystem för havsförsurning i kombination med annan miljöpåverkan.

### Haven dämpar växthuseffekten – men försuras

Sedan industrialiseringens början har halten koldioxid i atmosfären ökat kraftigt. Analyser av luft som fångats i Antarktis visar att halterna de senaste 800 000 åren har varierat mellan cirka 180 ppm (parts per million) under istider och 280 ppm under mellanistider. Men de senaste 200 åren har koldioxidhalten i atmosfären ökat till dagens omkring 420 ppm.

I dagsläget släpps årligen cirka 40 miljarder ton koldioxid ut till

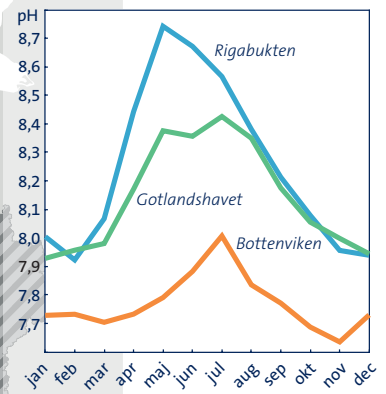
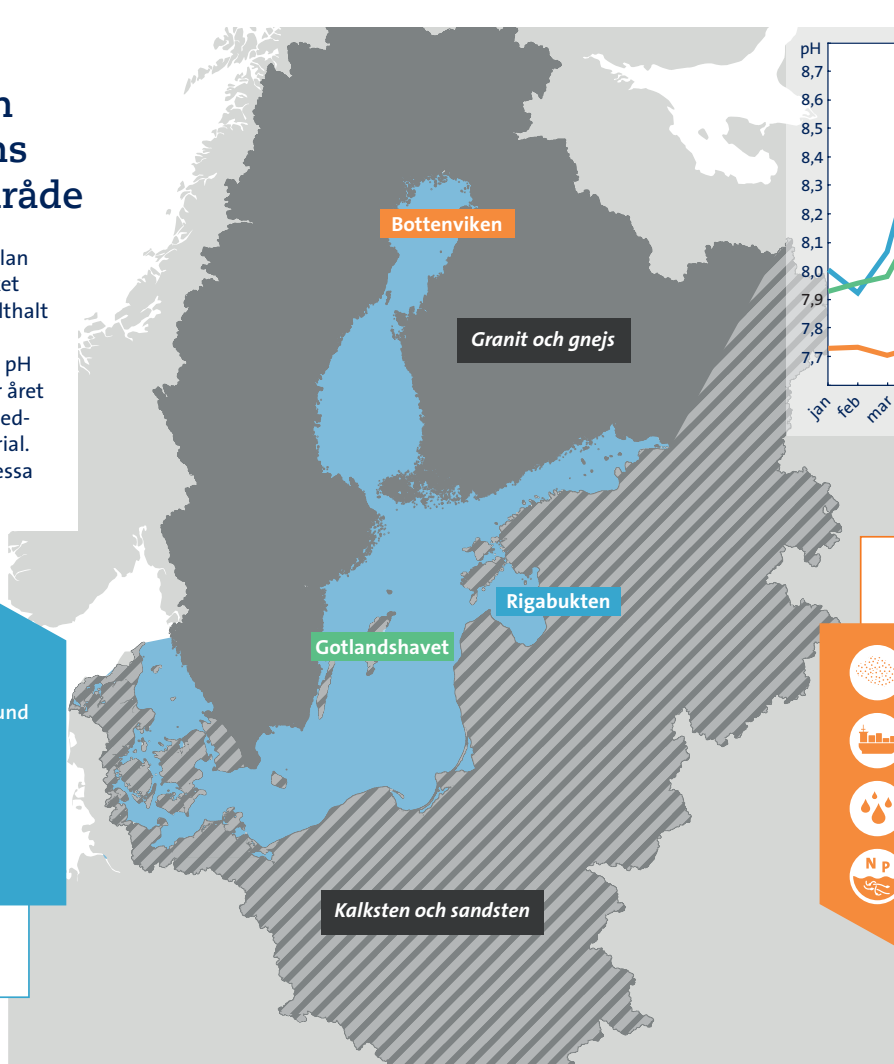


# Berggrund och pH i Östersjöns avrinningsområde

Det är stor skillnad i pH mellan olika delar av Östersjön, vilket hör ihop med skillnader i salthalt och med att berggrunden i avrinningsområdet varierar. pH varierar också mycket under året beroende på bildande och nedbrytning av organiskt material. Övergödning leder till att dessa årsvariationer förstärks.

- Vittring av berggrund
- Inflöde av kalkrikt oceanvatten
- Övergödning

**Höjer pH**  
Minskar försurningen



**Sänker pH**  
Ökar försurningen

- Koldioxid från luften
- Svavel- och kväveoxider från förbränning
- Ökad nederbörd
- Övergödning

atmosfären till följd av bland annat förbränning av fossila bränslen, cementproduktion och förändrad landanvändning. Knappt hälften (45 procent) av utsläppen ackumuleras i atmosfären, medan 30 procent tas upp av ekosystem på land och 25 procent tas upp av haven. Haven bidrar alltså till att dämpa koldioxidökningen i atmosfären, och därmed växthuseffekten, vilket gör att de länge betraktades i första hand som en koldioxidsänka.

Efter hand har det emellertid blivit tydligt att havens koldioxidupptag inte enbart är positivt, utan också gradvis leder till försurning av alla världens vattenområden, inklusive de stora oceanerna. Orsaken är att koldioxid som tas upp av haven reagerar med vattnet och bildar kolsyra, vilket leder till att pH-värdet i haven gradvis minskar.

## Havsförsurningen fram till idag

För närvarande minskar pH med omkring 0,002 enheter per år i oceanernas ytvatten. Sammanlagt sedan industrialiseringens början har pH minskat med mer än 0,1 enheter till dagens omkring 8,1. Minskningen kan låta liten, men eftersom pH-skalan är logaritmisk innebär den en förändring med omkring 30 procent.

I kustnära mindre hav som Östersjön är de långsiktiga pH-förändringarna svårare att urskilja, eftersom vattnets surhetsgrad samtidigt påverkas av flera andra processer som är mer påtagliga, och även varierar kraftigt över året.

I Östersjön finns stora geografiska skillnader i salthalt, men även pH skiljer sig markant mellan de olika delbassängerna och mellan kust och öppet vatten. Detta beror dels på proportionerna mellan oceanvatten och färskvatten i de olika bassängerna – det salta och kalkrika oceanvattnet har oftast högre pH än färskvatten från land. Men pH påverkas också av egenskaper i avrinningsområdet. I sydöstra Östersjön där berggrunden typiskt domineras av

kalksten och sandsten har flodvattnet en betydligt högre koncentration av löst kalk, som gör vattnet basiskt, än i norra delarna av Östersjön där berggrunden till stor del utgörs av granit och gnejs. Detta innebär till exempel att vattnet i Rigabukten har högre pH än det i Bottenviken.

Studier visar att havsförsurningen i vissa delar av Östersjön hittills varit mindre påtaglig än i världshaven, till exempel i Egentliga Östersjön. I andra delar har pH minskat snabbare än i världshaven, till exempel i några av de danska havsvikarna. Observationer visar att pH i genomsnitt under ett år i nuläget är cirka 8,3 i Rigabukten, 8,1 i centrala Gotlandshavet och 7,8 i Bottenviken.

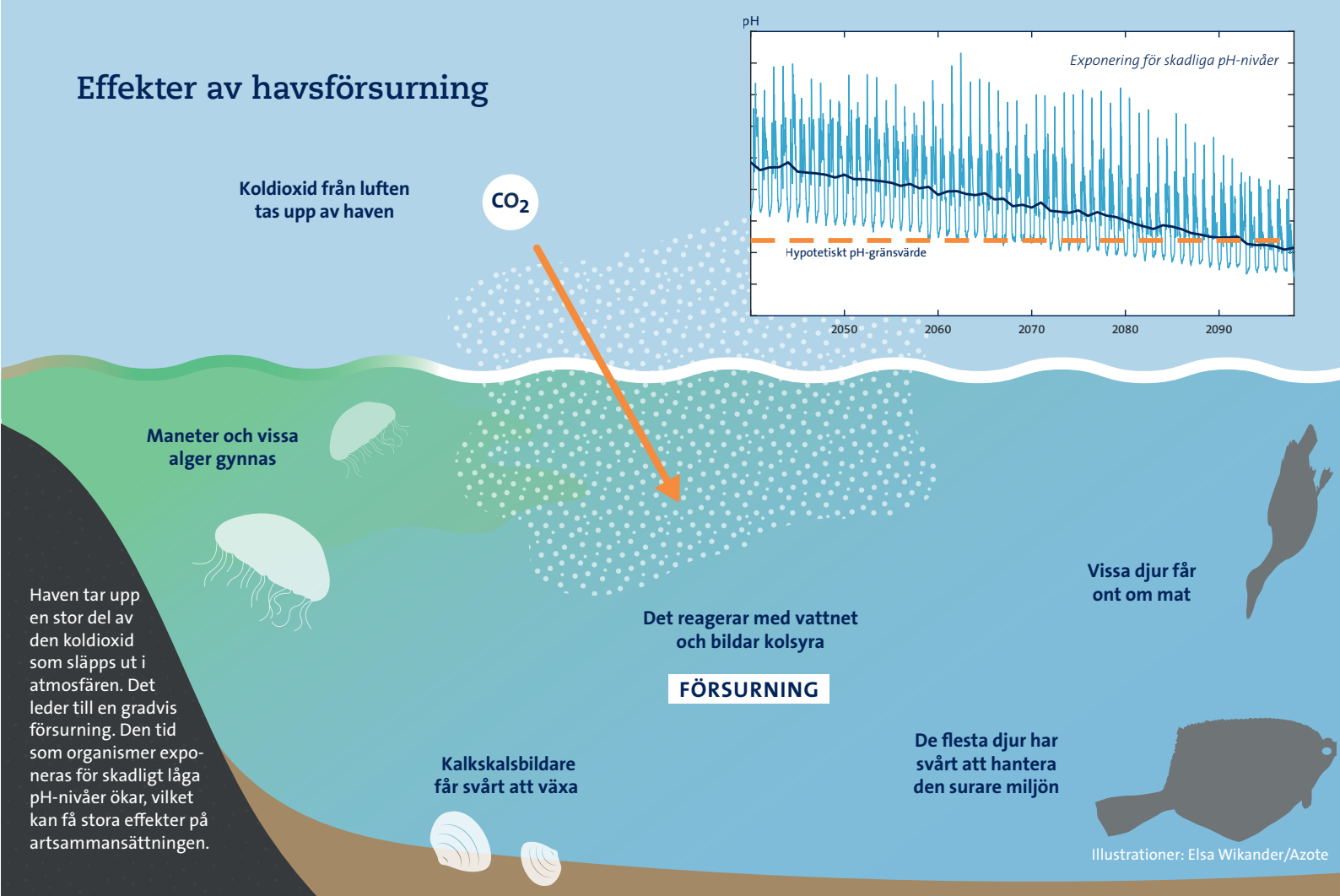
## Förväntad framtida försurning

Med nuvarande klimatpolitik bedöms det som sannolikt att koldioxidutsläppen kommer att kulminera kring mitten av det här århundradet för att sedan sakta minska. En sådan utveckling skulle innebära att koldioxidhalten i atmosfären fortsätter att öka till 600 ppm eller mer år 2100 och att pH i oceanernas ytvatten under samma period minskar med cirka 0,15 enheter jämfört med dagens nivå.

I mer extrema klimatscenarier som innebär en tillbakagång i klimatpolitik och kraftigt ökande koldioxidutsläpp, något som idag betraktas som mindre troligt, ökar koldioxidhalten i atmosfären till cirka 1000 ppm fram till år 2100, samtidigt som pH minskar med 0,3–0,4 enheter.

Modelleringar av utvecklingen i Östersjön ger en likartad bild av hur försurningen utvecklas på längre sikt – en sannolik utveckling med dagens klimatpolitik är en genomsnittlig pH-minskning med omkring 0,1–0,15 enheter under det här århundradet. Även om pH-nivåerna varierar betydligt mellan Östersjöns olika delbassänger så kommer pH-minskningen över tid att vara likartad. I Bottenviken väntas pH-minskningen dock bli aningen mer mar-

# Effekter av havsförurning



kant än i centrala Östersjön, och i Rigabukten aningen mindre.

Om Parisavtalets mål – det vill säga att begränsa den globala uppvärmningen till 1,5 grader – förverkligas så skulle de minskade koldioxidutsläppen också leda till att havsförurningen globalt stoppas och att pH sakta börjar öka igen i världshaven och i Östersjön under det här århundradet. Koldioxidutsläppen fortsätter dock att öka globalt och åtgärderna för att minska dem är för närvarande inte tillräckliga. Utsläppen av fossil koldioxid under år 2023 bedöms ha varit de högsta någonsin.

## Fartygsutsläpp kan ha stor lokal påverkan

Utöver de globala koldioxidutsläppen kan utsläpp av svavel- och kväveoxider från fartyg ha betydande effekt på pH i högratifierade fartygsleder och hamnar. Nya strängare globala regler begränsar numera svavelutsläppen till luft. En konsekvens av detta har dock blivit en kraftigt ökad användning av så kallad skrubberteknik.

Skrubberteknik är en rökgasreningsmetod som främst används för att tvätta ur svaveloxider i fartygsavgaser. Processen gör att svavelhalten i avgaserna håller sig under satta gränsvärden, men det vatten som används och som sedan släpps ut i havet är både kraftigt förorenat och kraftigt försurat, ofta med ett pH på cirka 3. Även om den storskaliga effekten av dessa utsläpp på havsförurningen är liten, jämfört med koldioxidutsläppens, kan kombinationen av försurande och giftiga ämnen i skrubbervatten lokalt ha stora effekter på levande organismer.

## Ekologiska effekter av förurningen

Med mer än 10 000 vetenskapliga publikationer inom ämnet finns det nu starka bevis för att den pågående havsförurningen kan få stora konsekvenser för de marina ekosystemen, genom att

gynna vissa organismer och missgynna andra.

De flesta djurarter har svårt att hantera den surare miljön, till exempel många fiskar, som tycks vara särskilt känsliga i larvstadiet. Att hålla pH-värdet konstant i celler och kroppsvätskor är avgörande för enzymernas funktion, och detta kräver mycket energi av marina organismer. I en försurd miljö är dessa processer ännu mer energikrävande.

Kalkbildande organismer, som använder kalciumkarbonat för att bygga skal eller skelett, identifierades tidigt som arter som riskerade att drabbas särskilt hårt av havsförurningen. Det beror på att bildandet och upprätthållandet av kalkstrukturer är särskilt energikrävande.

Andra organismer, som maneter och vissa typer av alger, kan gynnas av förurningen. De förändringar av artsammansättningen långt ner i näringsväven som detta leder till påverkar sedan organismer högre upp, såsom fiskar, fåglar och sälar, eftersom deras tillgång till föda förändras. Sammantaget förväntas havsförurningen bidra avsevärt till förlusten av biologisk mångfald i haven.

## Påverkan på Östersjöarter

De arter som lever i Östersjön är i allmänhet vana vid och anpassade till naturligt stora variationer i pH, och det antogs tidigare att det skulle vara lättare för dem att hantera havsförurningen än för arter i de stora världshaven. Nya studier har dock visat att det som främst påverkar organismerna är de lägstanivåer av pH som uppstår. Eftersom havsförurningen väntas förstärka årsvariationerna kan Östersjöarterna vara mer utsatta än vad som tidigare antagits.

Studier på specifika Östersjöarter visar att plankton överlag klarar av högre koldioxidhalter i vattnet, även om det finns indikationer på att artsammansättningen kan förändras. Cyanobakterien *No-*

*dularia* har i experiment visat sig missgynnas av försurningen, men kan å andra sidan gynnas av andra effekter kopplade till klimatförändringarna.

Av de kalkbildande arterna har Östersjömuslan i experiment visat sig ha svårt att klara försurning. Islandsmuslan tycks vara mer tolerant och anpassningsbar, liksom blåmuslan i det vuxna levnadsstadiet. I larvstadiet har blåmuslan däremot visat sig vara mer känslig och den fysiologiska stress som försurning orsakar kan därför skada framtida populationer.

För makroalger som blåstången kan försurningen leda till bättre tillväxt tack vare den ökade tillgången till kol som är deras energikälla, men effekten är sannolikt liten.

Flera av fiskarna i Östersjön, såsom sill och torsk, tillhör de arter som i larvstadiet är särskilt känsliga för försurning, men fiskpopulationerna kan också påverkas av förändringarna längre ner i näringsväven.

### Övergödning förstärker naturliga pH-variationer

pH varierar naturligt över året i havet på grund av att koldioxid binds i växter och djur och sedan frigörs när dessa bryts ner. En hög tillförsel av fosfor och kväve ger ofta upphov till stora algbloomningar, vilket innebär att en stor mängd koldioxid fixeras av växter. Detta resulterar i en stor pH-ökning under vår och sommar när ljusförhållandena är gynnsamma för fotosyntes, men också i en stor pH-minskning när det organiska materialet bryts ner och koldioxid frigörs. Under en planktonbloomning kan pH i Gotlandshavets ytvatten öka med mer än 0,5 enheter under loppet av en månad, för att sedan minska lika mycket igen under vintern.

I ett övergött hav med stor växtplanktonproduktion blir pH-ökningen under sommaren större än i ett näringsfattigt hav, men samtidigt blir också pH-minskningen under vintern mer påtaglig. Modelleringarna av utvecklingen av havsförsurningen i Östersjön visar att pH i genomsnitt över året är högre om näringstillförseln ligger på en hög nivå, än om den minskar i enlighet med vad Östersjöländerna kommit överens om genom Helcoms Baltic Sea Action Plan. Samtidigt är dock årstidsvariationerna större och lägstanivån för pH är lägre under övergödda förhållanden, vilket är det som påverkar djuren i havet negativt.

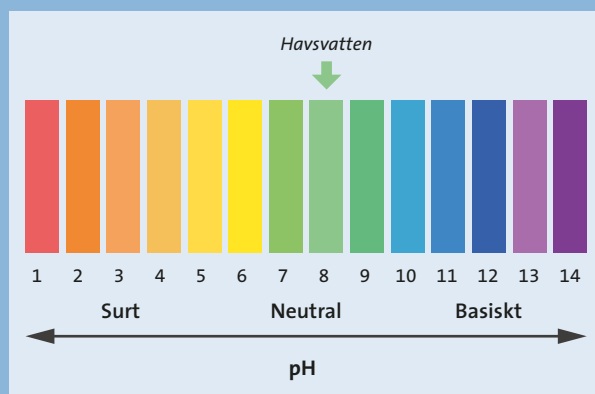
### Kombinerade effekter kan slå hårt

Parallellt med havsförsurningen pågår flera processer i Östersjön kopplade till klimatförändringarna, så som ökad vattentemperatur och värmeböljor, minskad syrehalt, minskad isutbredning, förändrad salthalt och ökad kusterosion.

Östersjöns ekosystem utsätts dessutom för stress orsakad av över-

### FAKTA pH

- pH-värdet är ett mått på koncentrationen av vätejoner och används för att beskriva hur sur eller basisk en vätska är.
- Rent vatten är vid rumstemperatur (25°C) varken surt eller basiskt och har då pH-värde 7, vilket betecknas som neutralt. Lägre pH innebär att vätskan är sur och högre att den är basisk.
- Havsvatten innehåller bland annat löst kalk vilket gör att det vanligtvis är svagt basiskt (pH ≈ 8 i genomsnitt), dock med stora variationer både geografiskt och beroende på tid på året.



fiske, utsläpp av farliga ämnen och den miljöpåverkan som är relaterad till övergödningen, som stora planktonbloomningar och ökad utbredning av syrefattiga djupvattenområden.

Det finns ett stort kunskapsbehov när det gäller hur kombinationen av havsförsurning och andra processer kommer att påverka Östersjöns ekosystem i framtiden. Med de framtida globala klimatförändringarna och havsförsurningen i åtanke finns stor anledning att snarast göra det som är möjligt för att minska de regionala problemen som finns i Östersjön, såsom övergödning, överfiske och utsläpp av farliga ämnen. Det kan göra organismer och ekosystem mer motståndskraftiga mot kommande klimat- och försurningseffekter.

Det pågår idag forskning om möjligheterna att öka bindningen av koldioxid i havet genom att förändra kemin i vattnet, vilket samtidigt skulle bidra till att motverka havsförsurningen. För att bromsa den storskaliga havsförsurningen och begränsa klimatförändringarna är det dock avgörande att kraftigt minska utsläppen av koldioxid till atmosfären.

### ATT ÖVERBRYGGA KLYFTAN MELLAN VETENSKAP OCH POLICY

Detta är en policy brief producerad av Stockholms universitets Östersjöcentrum.

Forskare, omvärldsanalytiker och kommunikatörer arbetar tillsammans för att överbygga klyftan mellan vetenskap och resten av samhället.

Vi syntetiserar och analyserar Östersjöforskning samt kommunicerar den i rätt tid till rätt aktör.

Information om skubbteknik har tillhandahållits av Chalmers tekniska högskola.

### Vetenskap och kommunikation med havet i fokus

08-16 37 18 | [ostersjocentrum@su.se](mailto:ostersjocentrum@su.se) | [su.se/ostersjocentrum](http://su.se/ostersjocentrum)

### KONTAKT

Erik Gustafsson, Östersjöcentrum,  
[erik.gustafsson@su.se](mailto:erik.gustafsson@su.se)

Monika Winder, Institutionen för ekologi, miljö och botanik,  
[monika.winder@su.se](mailto:monika.winder@su.se)

Sam Dupont, Göteborgs universitet,  
[sam.dupont@bioenv.gu.se](mailto:sam.dupont@bioenv.gu.se)

Östersjöcentrum

