

## Syreförhållanden i svenska hav

Syre är en av de viktigaste gaserna i havet, då den är nödvändig för allt högre liv. Ytvattnet är vanligtvis mättat med syre, vilket tillförs genom upptag från atmosfären och genom algers fotosyntes. I djupvattnet förbrukas syre genom nedbrytning av organiskt material som sjunker ned från ytan. Ökning av syre i djupvattnet kan endast ske genom tillförsel av nytt vatten eller genom vertikal omblandning. I områden med dålig vattenomsättning kan syre i djupvatten helt ta slut. Redan vid syrgashalter på 3,5 ml per liter sker påverkan på vissa arter och vid syrgashalter kring 2 ml per liter dör många arter eller flyr området och de biogeokemiska kretsloppen förändras. När syret är slut fortsätter nedbrytningen av organiskt material genom att bakterier utnyttjar sulfat som syrekälla och svavelväte bildas. Svavelväte är direkt giftigt för de flesta levande organismer och leder till döda bottnar. Istället för att ange halten av svavelväte används i många fall begreppet "negativt syre", vilket motsvarar den mängd syre som skulle åtgå för att åter oxidera svavelvätet.



### OBSERVATIONER AV SYRE

Syrgasmätningar från Östersjön är tillgängliga från 1890-talet men mätningarna är glesa och även osäkra på grund av osäker mätteknik. Sedan 1902 har syrgasmätningarna utförts med i princip samma metod, så kallad Winklertitrering. Fram till 1950-talet utfördes endast provtagning vid ett fåtal tillfällen per år men under 1960- och 70-talen förbättrades kvaliteten, kvantiteten och utbredningen. Detta till stor del tack vare initiativtagandena under det så kallade International Baltic Year (IBY) 1969-70, vars huvudsakliga syfte var att undersöka försämringen av syrgasförhållandena i Östersjön. Tack vare framgångarna med IBY rekommenderades det vid en konferens i Helsingfors 1970 att frivilligt fortsätta med IBYs mätprogram de följande åren.

1974 bildades Helsingforskonventionen (HELCOM) och IBY programmet följdes upp av "Baltic Monitoring Programme" (BMP) 1979. För att skapa samstämmighet mellan de olika mätprogrammen grundades "the Cooperative Monitoring in the Baltic Marine Environment" (COMBINE) 1992. Detta inkluderade en manual som definierade bidragen från samtliga avtalslutande parter och reglerar alla mätmetoder som använts, vilket ytterligare har förbättrat kvaliteten på observationerna.

SMHI är utsedd av Naturvårdsverket och Havs- och vattenmyndigheten till nationell och regional datavärd för marina fysikaliska, kemiska och marinbiologiska

data. SMHI utför regelbundet miljöövervakning av havsområdena och varje månad genomförs expeditioner. Vid expeditionerna utförs kemiska analyser på vattenprover och djupprofiler av vattnets salthalt och temperatur bestäms med hjälp av en så kallad CTD (Conductivity Temperature Depth). Om CTD-instrumentet är utrustat med en syresond fås även djupprofiler av syrehalten. Däremot krävs vattenprovtagning för att kunna bestämma halten svavelväte. Provtagning sker från ytan ner till botten vid ett antal stationer längs kusten och ute i öppna havet.



CTD-instrument.

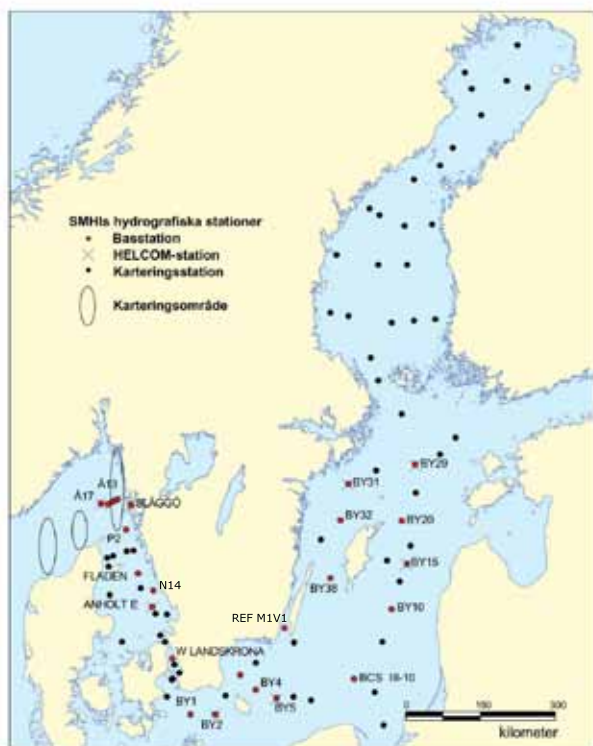
Vid bestämning av ett vattenprovs syrehalt avgörs det först om provet innehåller svavelväte eller inte genom att lukta på provet. Om man inte känner någon doft av svavelväte bestäms provets syrehalt med Winklermetoden. Om provet luktar svavelväte bestäms halten svavelväte med hjälp av en spektrofotometer.



Vattenprover Blåa - halten svavelväte bestäms med hjälp av en spektrofotometer. Ämnen tillsätts som ger provet en blåaktig färg, ju blåare provet blir desto högre halt svavelväte.



Provhämtning av vatten vid botten.



SMHIs hydrografiska stationsnät. De röda stationerna är så kallade basstationer där vattenprover tas varje månad. De övriga stationerna är så kallade karteringsstationer som besöks en till två gånger per år. För syre utförs karteringen under hösten och för närsalter under vintern.

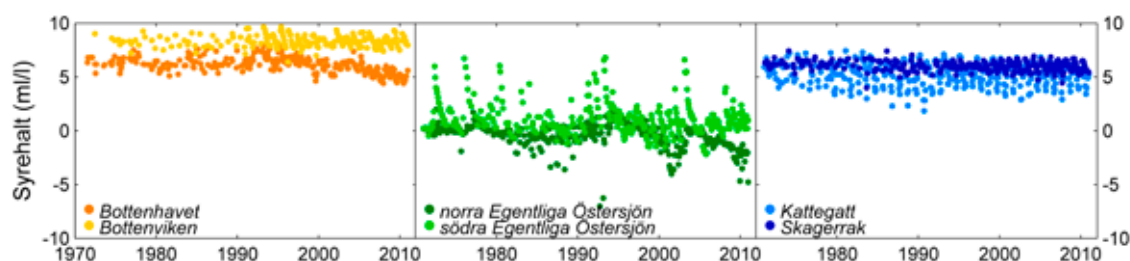
### SYREFÖRHÅLLANDEN

Det sker ett ständigt gasutbyte mellan havets ytvatten och atmosfären genom havsytan. Både salthalt och temperatur påverkar syrgaskoncentrationen i ytvattent. Vid stigande temperatur och ökande salthalt minskar syrgaslösligheten. Hög planktonproduktion kan öka syrgashalten i vattnet. Syrgaskoncentrationen avtar

SMHIs oceanografiska laboratorium är SWEDAC – ackrediterat. Detta innebär att SMHIs provtagning och analyser är kvalitetssäkrade. Förutom syrgas, svavelväte, salthalt och temperatur analyseras även närsalter, pH, totalalkalinitet, totalfosfor, totalkväve, partikulärt organiskt kväve, partikulärt organiskt kol, klorofyll a, växtplankton och primärproduktion. Data lagras bland annat i Svenskt HavsARKiv (SHARK). Dessa data är fritt tillgängliga via SMHIs websida.



med djupet och ett minimum av syre uppkommer i det vatten som längst varit isolerat från ytan. Syrgashalten i djupvattnet bestäms av vattenomsättningen och av nedbrytningen av dött organiskt material. I djupområden med begränsad vattenomsättning kan halten sjunka till mycket låga värden.



Syrehalter i bottenvatten i Bottenviken och Bottenhavet (till vänster), norra och södra Egentliga Östersjön (mitten), och Skagerrak och Kattegatt (till höger). I Bottenviken ligger syrehalterna på höga nivåer och inga förändringar över perioden kan ses. I Bottenhavet har syrehalterna i bottenvattnet minskat, troligen på grund av de försämrade syreförhållandena i Östersjöns mellanskikt som bildar djupvattnet i Bottenhavet. Syrehalterna i Egentliga Östersjön har minskat i hela bassängen under mätperioden. I de södra delarna sker normalt några mindre vattenutbyten per år, medan stagnationsperioderna i de norra delarna kan vara långa. I Skagerrak finns inga problem med låga syrehalter medan omsättningen av djupvattnet i Kattegatt kan vara begränsad under kortare perioder.

### SKAGERRAK OCH KATTEGATT

I Västerhavet utgörs djupvattnet av vatten från Nord-sjön och vattenomsättningen är god, speciellt i Skagerrak. Här förekommer normalt sett inga problem med låga syrehalter. I Kattegatt kan omsättningen av djupvattnet under vissa år vara begränsad och syreförhållandena vara dåliga, men det brukar endast vara under en kortare period sensommar/höst.

Syremättnaden i öppna Skagerrak är alltid över 85 % och Kattegatts ytvatten är normalt mättat med syrgas. Under saltsprångskiktet är syrgasmättnaden lägre. I norra Kattegatt är förhållandena relativt goda. Syrgasmättnaden minskar under sommaren, delvis på grund av syrgasförbrukningen genom oxidation av nedsjunkande dött organiskt material och delvis genom inblandning av varmt Skagerrakvattnet med lägre syrgashalt. Syrgasmättnaden sjunker från sitt maximum i februari till ett minimum i augusti och ökar sedan igen under hösten.

I södra Kattegatt, där vattenskiktet under saltsprångskiktet är mycket tunt på grund av det ringa vattendjupet, kan nedbrytning av organiskt material under sensommaren sänka syrgashalten till nära noll, och tillfälligt kan svavelväte bildas under speciellt ogynnsamma förhållanden. Ett exempel på detta är Laholmsbukten, där svavelvätebildning med åtföljande botten-död observerats vid några tillfällen under 1980-talet och 2002.

### FJORDAR, VIKAR OCH BUKTER

Låga syrgashalter, syrgasbrist och svavelvätebildning förekommer i djupvattnet i många svenska fjordar, fjärdar och vikar på grund av begränsat vattenutbyte och i vissa fall stora utsläpp av lätt nedbrytbart organiskt avfall. I de fall då tröskeln är så grund att den når upp till salthaltsskiktningen förhindras även det horisontella vattenutbytet och därmed syretillförseln. I de Bohus-

länska fjordarna Byfjorden, Kalvöfjorden och Koljöfjorden förekommer svavelväte ofta i bottenvattnet. Svavelväteförekomsten i Koljöfjorden är naturlig men i de övriga kan det bero på utsläpp i området, speciellt från Stenungsund och Uddevalla.

### BOTTENVIKEN OCH BOTTENHAVET

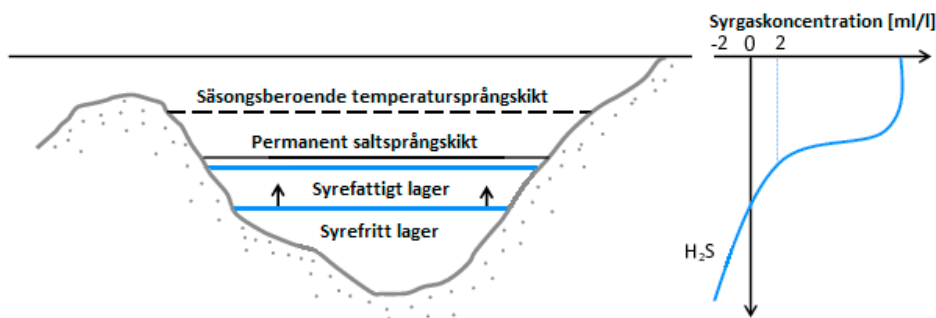
I Bottenviken är syreförhållandena i djupvattnet bra. Här är salthaltsskiktningen svag och den vertikala omblandningen god. I Bottenhavet har syrehalterna i bottenvattnet minskat på senare år vilket troligen beror på de försämrade syreförhållandena i Östersjöns mellanskikt som bildar djupvattnet i Bottenhavet.

### EGENTLIGA ÖSTERSJÖN

Ett permanent saltsprångskikt ligger på ett djup av ca 80 meter i Egentliga Östersjön (mindre i söder). Detta språngskikt försvårar vattenutbytet i djupled och utgör därmed också ett hinder för syrgastillförseln till djupvattnet. Det syre som förbrukas vid nedbrytning i djupvattnet kan endast till mycket liten del ersättas genom utbyte genom saltsprångskiktet. Syrgashalten i djupvattnet är därför oftast låg och då allt syre förbrukas uppstår helt syrefria förhållanden och svavelväte bildas.

Det temperatursprångskikt som skapas under sommaren försvagas vintertid och det övre lagret blir väl omblandat och syresatt ner till saltsprångskiktet. Detta bestämmer den övre gränsen för utbredningen av syrefattiga och syrefria områden.

I de centrala och norra delarna av Egentliga Östersjön är syrgassituationen i djupvattnet, under det permanenta saltsprångskiktet, relativt stabil över hela året. I de södra delarna däremot är det en tydlig årscykel av syrgaskoncentrationen i djupvattnet, som en direkt effekt av inflöden och mindre volymer djupvatten jämfört med de centrala och norra bassängerna.



Principskiss av skiktningen i Egentliga Östersjön och den generella syrgaskoncentrationen under senare år.

Språngskikt är en skarp horisontell gräns mellan olika vattenmassor. Gränsen uppstår genom att vattenmassorna har olika temperatur och/eller salthalt och därmed olika densitet.

## INFLÖDEN TILL ÖSTERSJÖN

Syreförhållandena i Östersjöns djupvatten är starkt påverkat av inflöden med salt och syrerikt vatten från Skagerrak och Kattegatt. Dessa inflöden är begränsade av smala och grunda trösklar i Lilla och Stora Bält samt Öresund. Endast stora inflöden, vilka inträffar sporadiskt, kan förnya djupvattnet i de centrala delarna av Egentliga Östersjön. Inflödande djupvatten utbreder sig genom Arkonabassängen och når Bornholmsbassängen. När denna bassäng är fylld fortsätter djupvattnet längs Stolpe Ränna in i östra Gotlandsbassängen. Därefter sprider sig djupvattnet moturs runt Gotland och in i västra Gotlandsbassängen. Allt eftersom det inflödande vattnet rinner in mot de centrala delarna av Egentliga Östersjön, sjunker salthalten på grund av omblandning och syrgaskoncentrationen minskar både på grund av omblandning och på grund av konsumtion. Ändå förbättras förhållandena i de djupa bassängerna och mängden syrgas ökar. Hur stor ökningen blir beror dels på syrgas- och salthaltsinnehållet i det inflödande vattnet samt den rådande syrgassituationen i de olika bassängerna. De flesta inflöden har, när de nått östra Gotlandsbassängen, blivit så utspädda att de lagras in på en mellannivå i närheten av saltsprångskiktet.

Det tar lång tid för vattnet att transporteras från Nordsjön till Gotlandsbassängen. Ungefär en månad efter att vattnet börjat strömma in genom sunden kan man se effekterna i Bornholmsbassängen. I de centrala delarna av östra Gotlandsbassängen ses inflödet efter cirka ett halvt år, och innan vattnet hunnit runt till de södra delarna av västra Gotlandsbassängen har det gått mer än ett år.

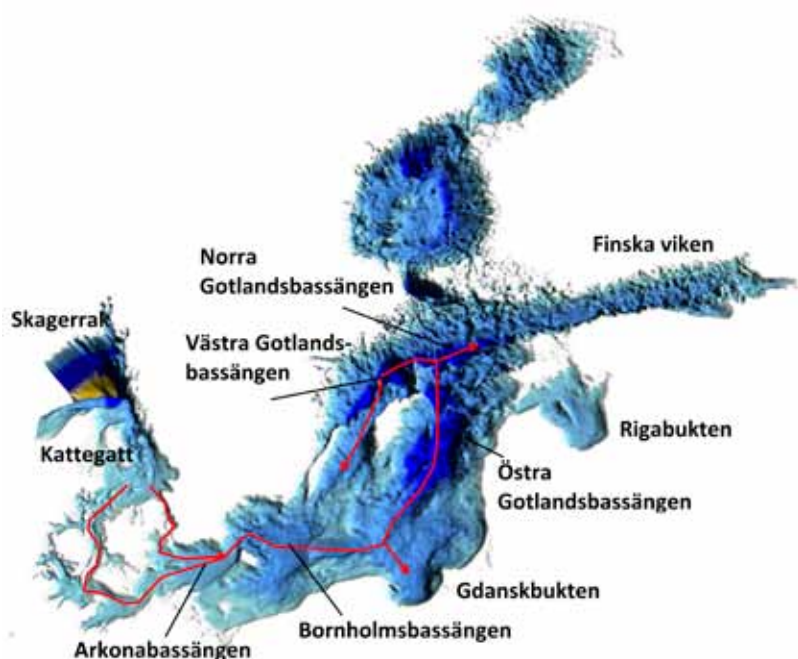
Ett stort inflöde leder till ökade syrgaskoncentratio-

ner men det orsakar också ökad stabilitet av skiktningen vilket har till följd att den vertikala omblandningen minskar och vattnet stagnerar, dvs. blir stillastående. I djupbassängerna i Egentliga Östersjön, ökar vanligtvis syrgaskoncentrationerna vid slutet av en stagnationsperiod. Denna ökning är en följd av den ökade advektionen i mellanliggande vattenmassor och genom ökat vertikalt utbyte eftersom skiktningen blir svagare.

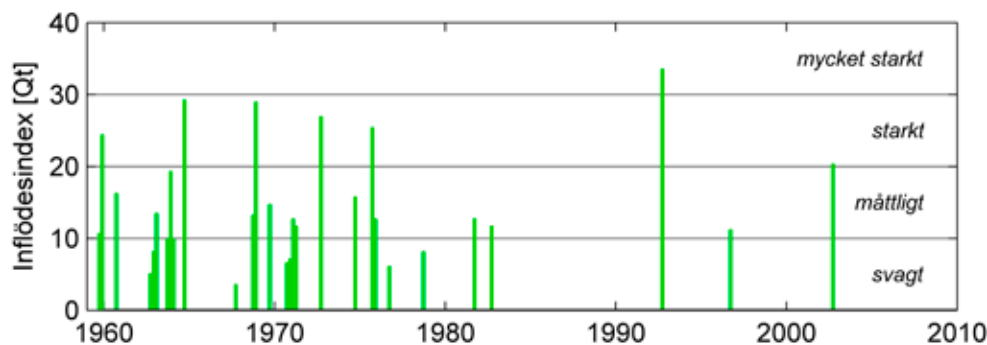
Mellan 65 och 75 procent av inflödet passerar de danska Bälten. Denna transportväg är relativt lång, och därför måste inflödet pågå under minst en vecka för att vattnet skall nå in i Östersjön. På grund av mindre djup rinner det inte lika mycket vatten genom Öresund. Detta vatten har dock kortare väg till djupområdena, och blir mindre utspätt än det vatten som rinner genom Bälten. Kallare vatten kan lösa mer syrgas, därför har de inflöden som inträffar vintertid störst effekt på syreförhållandena.

För att ett stort inflöde skall ske krävs först att Östersjöns vattenstånd är lägre än normalt, vilket blir fallet efter en period av östliga vindar under en till tre veckor. Sedan måste vindriktningen ändras till en kraftig västlig vind så att vattenståndet i Kattegatt ökar. Skillnaden i vattenstånd mellan Kattegatt och södra Östersjön driver saltrikt vatten från Kattegatt över de danska trösklarna in i Östersjön. Ju längre västvinden ligger på desto mer och saltare vatten tränger in. Normalt krävs en till tre veckor för att ge ett stort inbrott.

Under förra seklet inträffade inflödena med bara ett eller ett par års mellanrum. Men sedan början på 1980-talet har frekvensen minskat, och stora saltvatteninflöden har bara skett under åren 1983, 1993 och 2003.



Utbredning av inflödande djupvatten samt Östersjöns botten-topografi. Egentliga Östersjön inkluderar Arkonabassängen, Bornholmsbassängen, Stolperänna, Östra, Norra och Västra Gotlandsbassängen.



Inflöden av salt, syrerikt vatten är viktiga för tillförsel av syre till Östersjöns djupvatten. Stora inflöden har dock uteblivit under senare år. Inflödesindexet beräknas utifrån flödets varaktighet och medelsalthalten i vattenpelaren.

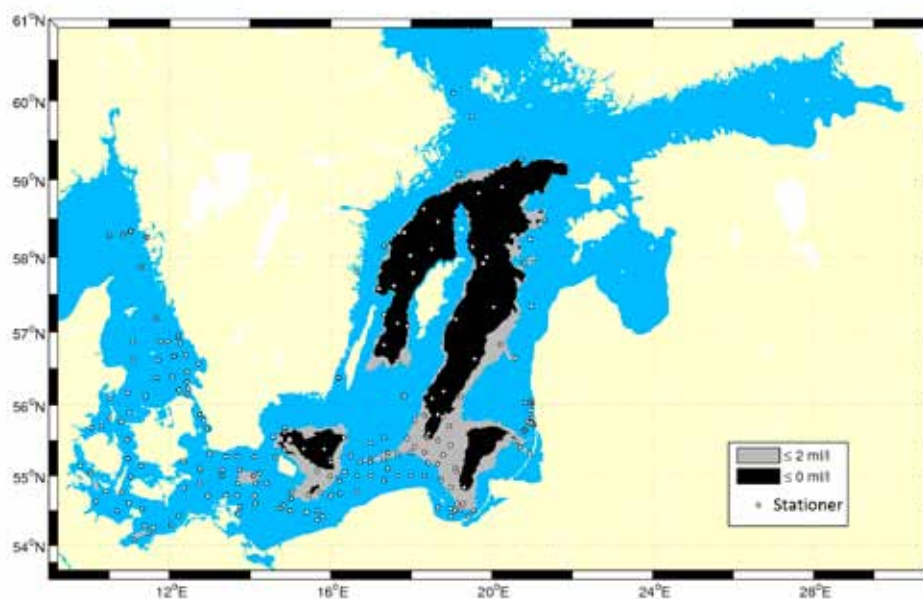
### SYREBRIST I ÖSTERSJÖN

Syrebristen i Egentliga Östersjön under 2000-talet är den värsta som någonsin observerats. Delvis är syrebristen en följd av havsområdets naturliga förutsättningar, men problemen har påskyndats och förvärrats av övergödningen.

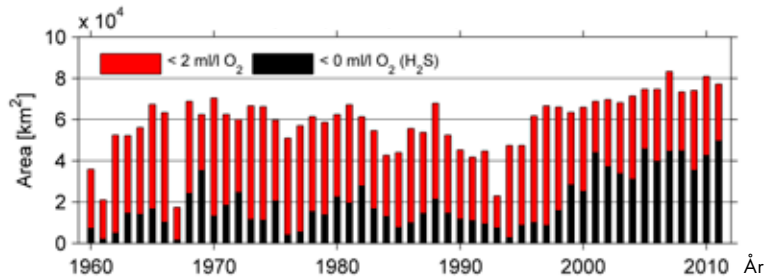
Olyckligtvis orsakar syrebristen i sin tur förändringar i näringsämnenas kretslopp. Med ökande syrebrist återförs fosfor ur sedimenten till vattenmassan, vilket bidrar till ökade blomningar av kvävefixerande cyanobakterier eller blågröna alger som de också kallas. Även sedimentens förmåga att omvandla kväve till kvävgas

påverkas. Fortsatt syrebrist i Östersjön förstärker alltså övergödningens negativa effekter i en ond cirkel.

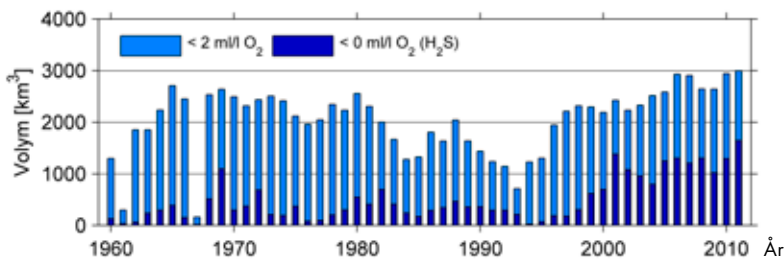
En anledning till att Egentliga Östersjön drabbas så hårt av syrebrist är att vattenmassan är permanent skiktad. Perioder med syrebrist är ingen ny företeelse i Östersjön. I sediment har man funnit bevis som går tillbaka till 1600-talet, som visar på att bottenar tidvis har varit syrefria. Skillnaden i dag är att utbredningen av syrefria bottenar har ökat markant. Under senare år har man även sett att låga syrehalter och svavelväte påträffas högre upp i vattenmassan än tidigare.



Utbredning av syrefattiga (grått område) och helt syrefria bottenar (svart område) hösten 2011 i Egentliga Östersjön.



Utbredning av syrefattigt och syrefritt bottenvattnet i Egentliga Östersjön.



## PÅVERKAN PÅ FISK

När syrebrist inträffar i ett havsområde påverkas framförallt utbredningen av fisk inom området genom att fisken flyr eller dör. Fiskarter har olika tolerans mot låga syrekoncentrationer i vattnet och först försvinner de mest känsliga arterna. Under goda syreförhållanden domineras fiskfaunan vanligtvis av kommersiellt viktiga arter som torsk, vittling och rödspotta. Dessa är känsliga mot låga syrehalter och vid syrebrist dominerar istället de mer toleranta och för människan mindre attraktiva arterna så som ler- och sandskädda.

Låga syrgaskoncentrationer kan påverka fiskens fysiologi innan fisken flyr. Vissa fiskarter kan kompensera låg syrehalt i vatten genom att öka blodcirkulationen eller genom att öka antalet blodkroppar som transporterar syret. Denna anpassning innebär emellertid en fysiologisk stress och större energiförbrukning, vilket kan påverka andra funktioner.

Syrebristen i Östersjöns djupvatten har stor påverkan på torsk. Torskens ägg måste flyta i vattenmassan under en period, tills ynglen utvecklats. Västerhavstorskens ägg flyter vid en salthalt på ca 30 psu (practical salinity unit). Så salt vatten finns inte i Egentliga Östersjön. Torsken i Östersjön har under årtusenden anpassat sig till den låga salthalten så äggen flyter redan vid 11 psu. Och för att äggen skall överleva och kunna utvecklas krävs en syrehalt på minst 2 ml/liter. För att fortplantningen skall fungera optimalt krävs emellertid ännu högre salt- och syrehalter, upp mot 16 psu och 8 ml/l. Området öster om Bornholm är den viktigaste lekplatsen. Men ofta är det syrebrist i det djupvatten som har tillräckligt hög salthalt för att äggen skall flyta. Denna syrebrist i bottenvattnet har förvärrats av övergödningen av vårt hav, vilket gör att torskleken lyckas alltmer sällan.

## ÖVERGÖDNING

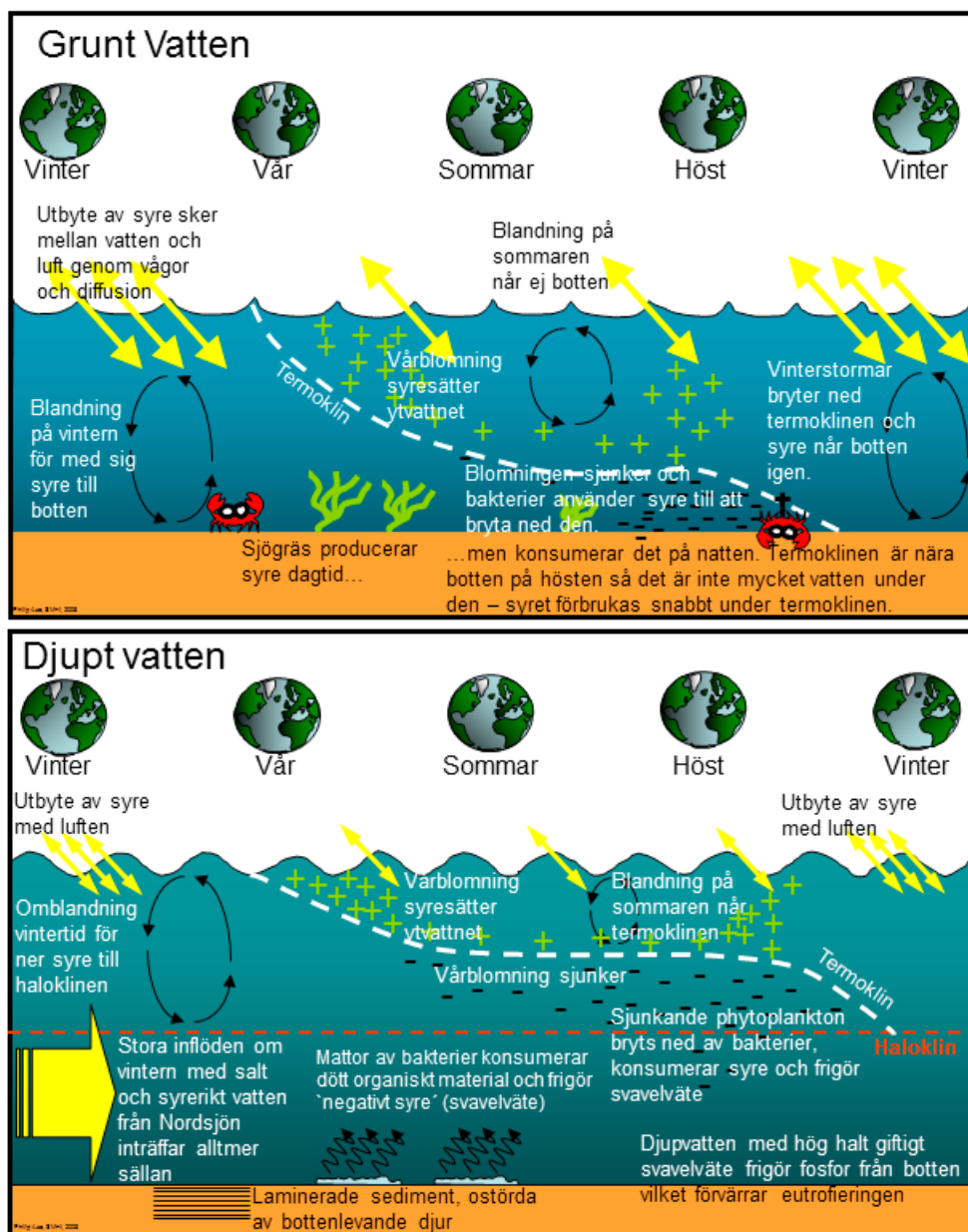
Övergödning, eller eutrofiering, är ett allvarligt problem speciellt i Egentliga Östersjön. Egentliga Östersjön är ett av världens mest förorenade havsområden. Mycket beror på dess utsatta läge, omringat av tätt befolkade landområden och med bara smala sund som förbindelse till världshaven blir alla utsläpp kvar länge. Sedan 1940-talet har tillförseln av de viktigaste näringsämnen kväve och fosfor till havsområdet flerdubblats, framförallt på grund av ett allt intensivare jordbruk, vattenburet avlopp, biltrafik och ökade industriutsläpp. Detta har orsakat stora ekologiska förändringar. En del arter drar nytta av det ökade tillflödet av näring, som exempelvis snabbväxande alger och vissa mikroorganismer, medan andra arter får svårare att konkurrera och minskar i omfattning eller slås ut helt.

## ÖVERGÖDNINGENS EFFEKTER

En ökad tillförsel av näringsämnen som annars är begränsande för tillväxten i haven leder till ökad produktion av växt- och djurplankton. En ökad produktion ger mer mat till fisk och bottenlevande djur som befinner sig i det syrerika vattnet ovanför språngskiktet.

Den ökade produktionen ovanför språngskiktet leder till att mycket organiskt material faller ner till botten under språngskiktet. Vid nedbrytningen av detta krävs mycket syre och då vattenutbytet mellan det övre och undre skiktet är dåligt kan syrebrist uppstå.

Vid syrebrist frigörs näringsämnet fosfor i form av fosfatjoner från sedimenten och när detta ämne blandas upp i ytvattnet bidrar det till ytterligare gödning av havet.



Schematisk bild av kretsloppet i havet. Figur: Philip Axe, SMHI

## ÖVERGÖDNING I VÄSTERHAVET

Effekter av övergödning kunde konstateras redan på 1950-talet, men blev tydliga först på 1970-talet. Några av de första tecknen var utbredd syrebrist i bottenvatten i sydöstra Kattegatt och i flera av de bohuslänska fjordarna. Under 1980- och 1990-talet har stora förändringar ägt rum i de för fiskproduktionen viktiga grundområdena. I dessa har tidigare nakna botten fått ökad växtlighet och en så kraftig påväxt på ålgräset, att ålgräsängarna är hotade. Många grunda vikar i Bohuslän är sommartid fyllda av trådformiga grönalger, ett förhållande som kraftigt försämrar uppväxtbetingelserna för plattfisk och torsk.

## För mer information kontakta:

Maria.Andersson@smhi.se

Omslag Vattenprover Gula - syrehalten bestäms med Winklermetoden. Ämnen tillsätts som färgsätter provet, ju gulare provet blir desto högre syrehalt och ett färglöst prov indikerar om låga syrehalter.

Samtliga foton: Philip Axe, SMHI