

Rekordstor utbredning av syrefria bottenar i Östersjön

LARS ANDERSSON & MARTIN HANSSON, SMHI

Under 2000-talet har det ofta rapporterats om att rekordstora delar av Egentliga Östersjöns djupområden är helt syrefria eller påverkade av syrebrist. Men vad är det egentligen som har skett? Genom att analysera alla tillgängliga syrgasdata från 1960 och fram till idag kan man se ett kraftigt regimskifte under slutet av 1990-talet. Utbredningen av syrefria bottenar har tredubblats under 2000-talet och ligger nu på en nivå som aldrig tidigare dokumenterats.

■ Under perioden 1960–1998 påverkades stora områden i Östersjön av syrebrist medan helt syrefria förhållanden enbart förekom i de djupaste bassängerna. Under 1990-talet minskade utbredningen av syre-

brist på grund av en svagare skiktning i vattenmassan. Utbredningen av helt syrefria bottenar påverkades inte på samma sätt av den försvagade skiktningen, utan var fortsatt på ungefär samma nivå. Direkt efter ett kraftigt saltvatteninflöde som skedde 1993 förbättrades förhållandena markant, men redan efter ett år noterades åter syrefria områden i Östersjöns djupvatten. Under slutet av 1990-talet ökade både utbredningen av syrefria och syrefattiga områden.

Från 1960 till slutet av 1990-talet var i genomsnitt fem procent av bottenarna i Egentliga Östersjön, inklusive Rigabukten och Finska viken, påverkade av helt syrefria förhållanden och omkring 22 procent var påverkade av syrebrist med syrgashal-

ter under 2 ml/l. Efter 1999 var det i genomsnitt hela 15 procent av bottenarna som var helt syrefria och 28 procent som var påverkade av syrebrist.

Helt syrefria bottenar kan öka ännu mer

Det permanenta salthaltsprångskiktet, haloklinen, i Egentliga Östersjöns centrala delar ligger på omkring 60–80 meters djup. Under vintern, då temperaturskiktningen är svag, omblandas det övre lagret och syresätts helt, ända ner till haloklinen. Det är alltså haloklinens djup som bestämmer den övre gränsen för hur stora områden som kan påverkas av syrebrist under en stagnationsperiod då omblandningen mellan olika vattenmassor är begränsad.

Under hela 2000-talet har syrebrist

FAKTA

Beståndsuppskattning av fisk och syrgaskartering samordnas

Sedan 2008 har SMHI och Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU, före detta Fiskeriverket) samordnat akustisk beståndsuppskattning av fisk (Baltic International Acoustic Survey) i Östersjön och syrgaskartering. Under dessa expeditioner besöks stora delar av Östersjön och den geografiska täckningen blir därmed mycket god. Även övriga länder runt Östersjön genomför liknande expeditioner under samma tid och genom datautbyte blir täckningsgraden av både fiskbestånd och syreförhållanden nära nog optimal.

Under hösten 2012 genomfördes en liknande syrgaskartering i samarbete mellan SMHI och SLU. Data har ännu inte analyserats.



Syreförhållandena i Östersjön påverkas bland annat av avrinningen från land. Här en bild från Rigabukten.

Foto: Shutterstock

uppmäts strax under haloklinen. Därmed har syrebristen i stort sett nått den maximala utbredning som är fysiskt möjlig med tanke på den permanenta skiktningen som finns i Östersjön. De helt syrefria områdena kan däremot fortsätta öka, om den negativa utvecklingen, med ökad syreförbrukning i djupvattnet fortsätter.

Har inflödena ändrat karaktär?

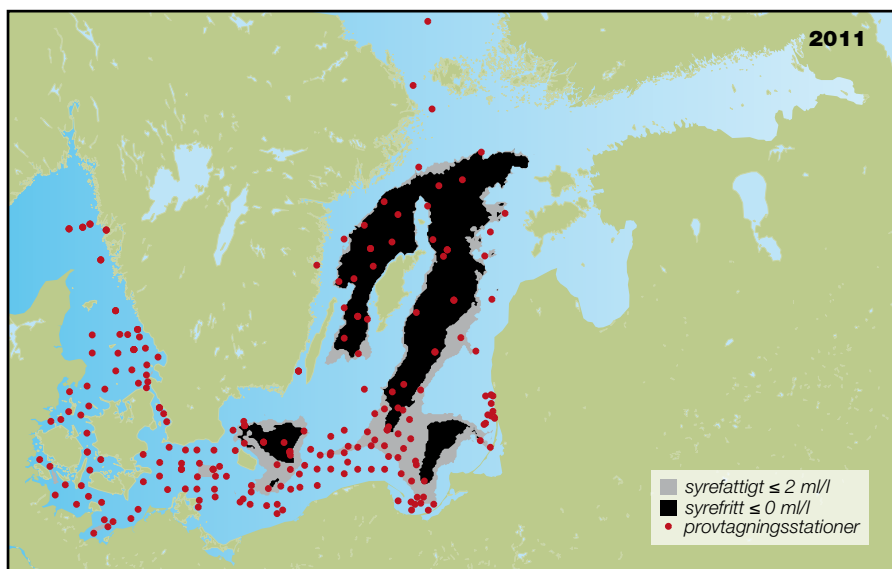
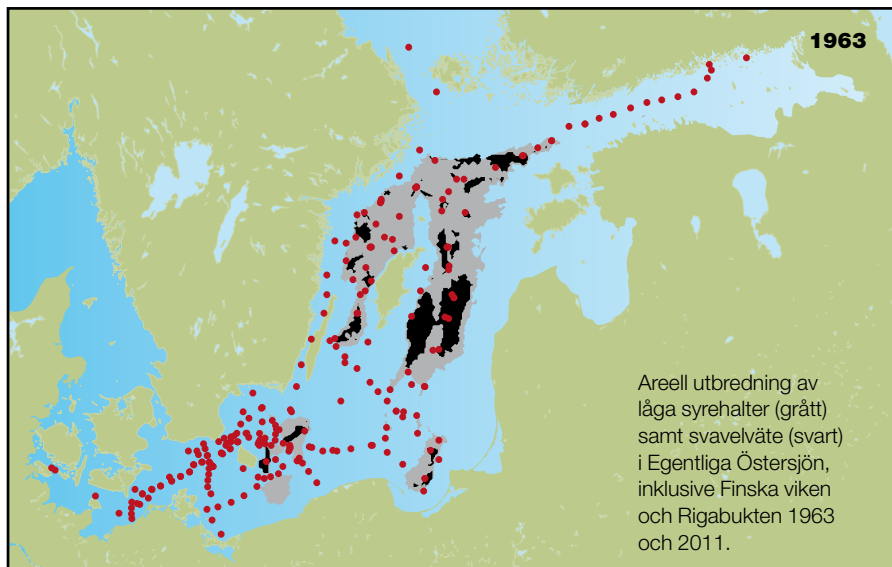
Innan 1980 var det vanligt med saltvatteninflöden i Östersjön, vissa år inträffade flera stora inflöden. Efter 1980 har det varit omkring tio år mellan de riktiga stora inflödena. Inflödena har alltså blivit färre, men det kan också vara så att de ändrat karaktär. För att inflödena skall ha någon effekt bör det inflödande vattnets salt- och syrehalt vara hög och temperaturen låg och sådana förhållanden råder under vintern. Men under 2000-talet har inflöden istället inträffat under sommar och höst. Dessa inflöden är varma, med lägre salt- och syrehalt. Vanligtvis ger dessa inflöden upphov till goda syreförhållanden i sydvästra Egentliga Östersjön men de påverkar inte syreförhållandena i de djupare, centrala delarna. De lagras istället in som ett mellanlager och kan på så sätt stärka den permanenta skiktningen ytterligare, vilket försvårar syreutbytet mellan det övre och undre lagret.

Det varma vattnet påskyndar också mikrobiell nedbrytning i djupvattnet vilket ytterligare ökar syreförbrukningen. Efter det stora inflödet 1993 ökade syrehalten i Gotlandsdjupet till 2,7 ml/l år 1994, men efter ungefär nio år hade halterna sjunkit till -6,2 ml/l (uppmänt svavelvätehalt omräknat till negativt syre). Efter inflödet 2003 sjönk syrehalterna från 3,3 ml/l till -4,7 ml/l på bara tre år. En förklaring till detta kan vara ökad belastning av organiskt material till djupvattnet på grund av övergödning, men det kan också bero på en ökad temperatur i djupvattnet.

En ny fas

Egentliga Östersjön har under 2000-talet gått in i en ny fas när det gäller syreutvecklingen. Aldrig tidigare har en så omfattande stagnationsperiod utan betydande inflöden av syrerikt vatten noterats. Under tidigare stagnationsperioder har syrgasförhållandena gradvis förbättrats i djupvattnet i och med att skiktning försvagats under perioder

SYREFRIA OCH SYREFATTIGA BOTTNAR I ÖSTERSJÖN



Kartor efter original av S.W.H.I.

UTBREDNING OCH VOLYM AV BOTTNAR MED SYREBRIST I ÖSTERSJÖN

	1960 – 1998		1999 – 2011	
	Syrefattig	Syrefri	Syrefattig	Syrefri
Medelutbredning	22	5	28	15
Maximal utbredning	27 (1968)	14 (1969)	32 (2007)	18 (2005)
Medelvolym	13	2	18	8
Maximal volym	19 (1965)	8 (1969)	20 (2010)	10 (2001)

➤ Utvecklingen av syrebristen på Östersjöns botten före och efter regimskiftet. Syrefattig ≤ 2 ml O_2/l , syrefri (svavelväte) ≤ 0 ml O_2/l , årtal inom parentes.

då inga inflöden sker, men någon sådan tendens går inte att se idag.

Historiskt sett så har syreutvecklingen i Östersjön undersökts i detalj och de flesta fysiska och kemiska processer som är inblandade finns beskrivna. Men orsaken och effekterna av utvecklingen under 2000-

talet är inte helt klarlagda. Om utbredningen av helt syrefria botten ökar ytterligare kan det medföra att fosfat frigörs från botten som tidigare varit syresatta. Det kan i sin tur förvärra övergödningproblematiken i Östersjön ytterligare. 🐟

Fortsatt låga syrehalter

Syrgassituationen i djupvattnet är fortsatt mycket allvarlig. Samtliga havsområden, förutom Kattegatt, visar en negativ trend i syrekonzentration i djupvattnet. I Bottniska viken bildas djupvattnet av vatten som kommer från ett mellanskikt i Egentliga Östersjön. I Bottenhavet har syrehalterna i djupvattnet minskat, troligtvis på grund av de försämrade syreförhållandena i Egentliga Östersjön. I Bottenviken förnyas djupvattnet genom att ytvatten flödar in från Bottenhavet. Det gör att syrehalterna här ligger på höga nivåer. I Bottenviken är skiktningen som svagast och under kalla vintrar kan hela vattenmassan vara helt homogen, här ligger också syrehalterna på höga nivåer. Läs mer om syresituationen i fördjupningsartikel.

Vattnet varmare

Beroende på det geografiska avståndet finns en temperaturskillnad mellan de olika havsbassängerna. Årsmedeltemperaturen i ytvattnet är därför högre i Egentliga Östersjön och Västerhavet än i Bottniska viken. I de flesta bassänger har temperaturen i både ytvatten och djupvatten stigit sedan början av 1990-talet, men inte i Bottniska viken. År 2011 var dock Bottniska vikens ytvatten extremt varmt.

Salthalten varierar

Skillnaderna i salthalt skapar en salthaltgradient, ökande från omkring 2 promille i Bottniska viken till drygt 35 promille i Västerhavet. I Egentliga Östersjön och Bottniska viken har salthalten i ytvattnet minskat sedan 1970-talet. I Skagerrak har

salthalten däremot ökat, denna ökning är troligen inte verklig utan beror förmodligen på de stora variationerna under 1970-talet, vilket gör att analysen i början av mätperioden är osäker. I Kattegatt kan ingen förändring ses.

I djupvattnet har salthalten ökat i Västerhavet. Egentliga Östersjön påverkas tydligt av större inflöden av Nordsjövatten och salthalten varierar utan tydliga trender i djupvattnet i de södra delarna. I den norra delen har salthalten minskat sedan 1970-talet. Minskningen var tydligast under 1980-talet, medan en ökning sedan skett från början av 1990-talet. För Bottniska vikens del har salthalten i djupvattnet sjunkit, sett över hela perioden.

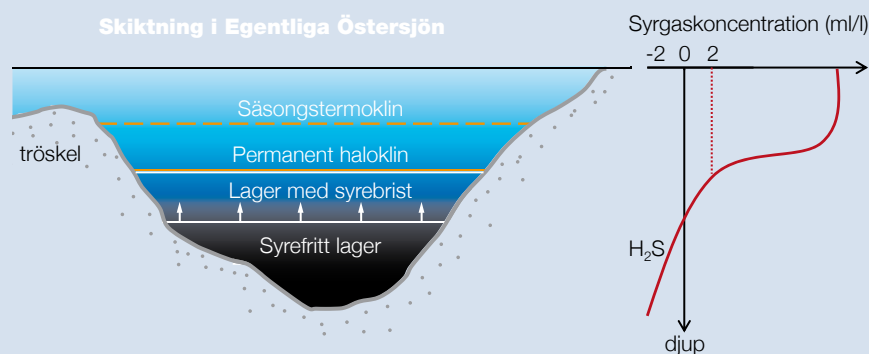
FAKTA

Våra unika havsområden

Lättare, sötare ytvatten strömmar söderut från Bottniska viken och tyngre saltvatten strömmar in från Västerhavet till Östersjön genom de danska sunden. Alla våra svenska havsområden har unika egenskaper beroende på skillnader i salthalt samt grunda trösklar som skiljer bassängerna åt. Skillnaden i salthalt mellan ytvatten och bottenvatten skapar en skiktning, haloklin, som försvårar omblandning av de olika skikten. Skiktningens djup och styrka tillsammans med tillförsel och förluster av näringsämnen, interna processer och vattnets omsättnings-tid, är faktorer som påverkar bassängernas vattenkvalitet.

Dynamiken i ytvattnet

Stora variationer i temperatur och mängd av näringsämnen förekommer i ytvattnet. Under vintern när vattnet kyls är ytlagret homogent ner till saltsprångskiktet. Den biologiska aktiviteten är låg och det sker inget upptag av näringsämnen. Man använder sig därför av vintervärden av näringsämnen för att se potentialen för nästa säsons vårblomning. När ytvattnet värms upp under våren bildas ett varmare ytvatten och skiktningen gör att produktionen av växtplankton kommer igång. Skiktningen förstärks under sommaren av ökad uppvärmning och av att tillrinningen av sötvatten ökar under den varma perioden. Även om näringsämnen tillförs



➤ Principskiss av skiktningen i Egentliga Östersjön och de generella syrekonzentrationer som uppmätts under 2000-talet. Svavelväte är omräknat till negativt syre.

genom tillrinning och nedbrytning av plankton så förbrukas de snabbt och halterna av näringsämnen är därför mycket låga under sommaren. Under hösten avtar den biologiska aktiviteten när vattnet kyls och temperaturskiktningen försvinner.

Syresituationen i djupvattnet

Variationerna är mindre i djupvattnet. Omsättningen i djupvattnet beror på botten-topografin, tillförsel av sötvatten, större inflöden av salt och syrerikt vatten från Nordsjön, samt belastning från ytvattnet. Skagerrak, som påverkas mycket av Nordsjön, har en god vattenomsättning och höga syrehalter. Kattegatt är en övergångszon med saltare djupvatten från Skagerrak och sötare ytvatten från Östersjön och omsättningen av

djupvatten kan under kortare tider vara begränsad.

Vattenomsättningen i Egentliga Östersjön är beroende av större inflöden av Nordsjövatten. Här finns ett sötare ytvatten som strömmar norrifrån och ett djupvatten från Västerhavet. Gränzytan mellan dessa bildar en permanent haloklin som är grundare i söder och lite djupare i norr. Utbytet av djupvatten är sporadiskt och det är sällsynt med stora inflöden från Västerhavet. I de södra delarna sker normalt några mindre vattenutbyten per år, men i de centrala och norra delarna kan stagnationsperioderna vara långa. Syrehalten sjunker dessutom numera snabbare efter ett inflöde beroende på en ökad belastning och förstärkt skiktning av vattenmassan.

Kväve och fosfor minskar sakta

Halterna av totalkväve är ungefär lika i alla havsbassänger, medan halten av oorganiskt kväve är lägre i Bottniska viken och Egentliga Östersjön än i Västerhavet. Där är mellanårsvariationen också större på grund av inflöden från Nordsjön. Halterna av totalfosfor och fosfat ligger på samma nivå i Västerhavet och Egentliga Östersjön

men är markant lägre i Bottniska viken. De absolut lägsta nivåerna finns i Bottenviken.

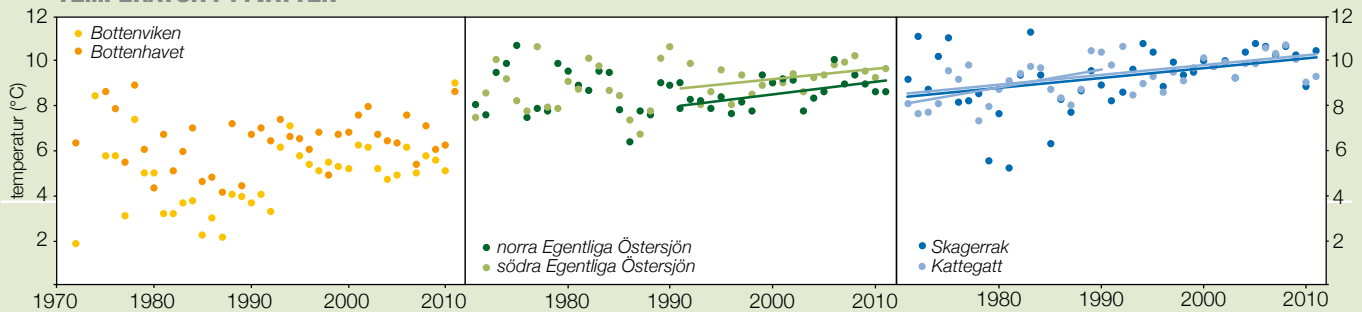
Halterna av näringsämnen ökade fram till slutet av 1980-talet. Både kväve- och fosforhalterna har sedan minskat under 1990-talet. Kvävehalterna har därefter fortsatt att minska, eller legat på samma nivå under 2000-talet, medan fosforhalterna har ökat. De senaste åren har fosforhalterna

na i Egentliga Östersjön börjat visa tecken på en minskning.

Mer kisel i norr

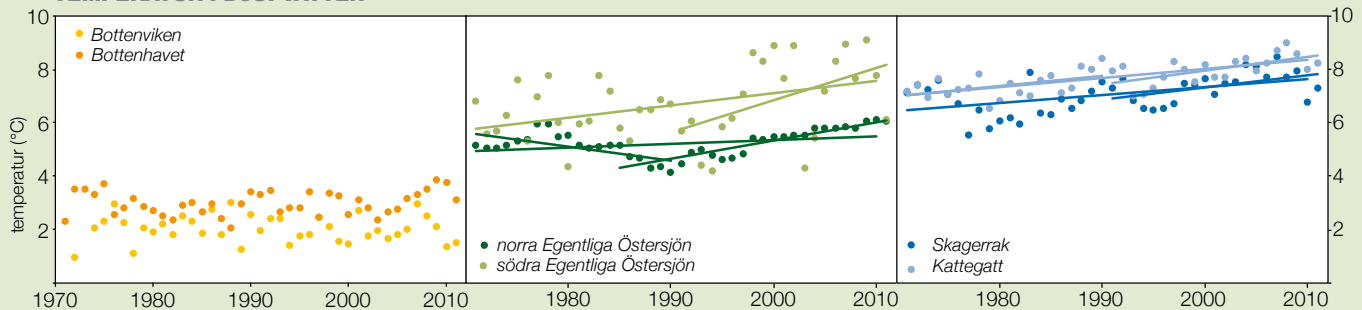
Halterna av kisel är som högst i Bottniska viken medan de minskar i Egentliga Östersjön. Allra lägst är halterna i Västerhavet. Ökningen i norr kan bero på en ökad tillrinning.

TEMPERATUR I YTVATTEN



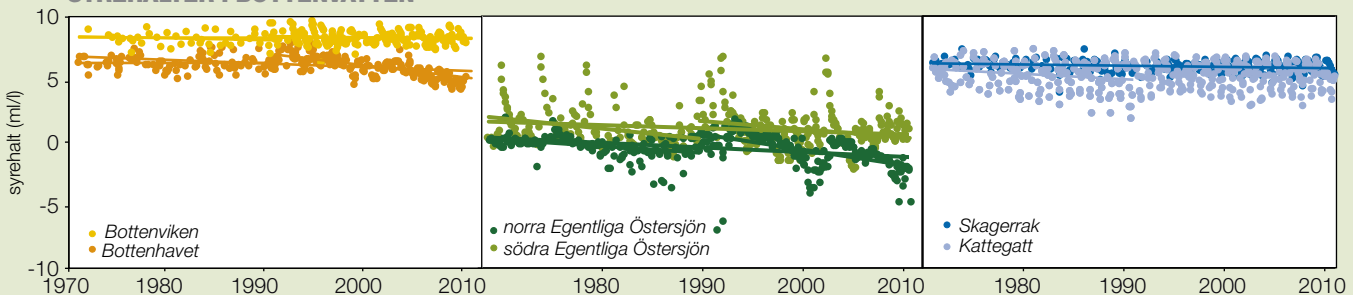
➤ Perioden 1970–1990 visar stora variationer i ytvattnets temperatur. I Bottniska viken sjönk temperaturen under denna tid. En del av de stora variationerna i början av tidsserien kan troligen förklaras av att mätningarna inte var lika jämnt fördelade över året som de varit sedan början av 1990-talet, då månadsvisa mätningar infördes. Under den andra mätperioden har temperaturen ökat signifikant i både norra och södra Egentliga Östersjön. I Västerhavet är ökningen signifikant över hela perioden.

TEMPERATUR I DJUPVATTEN



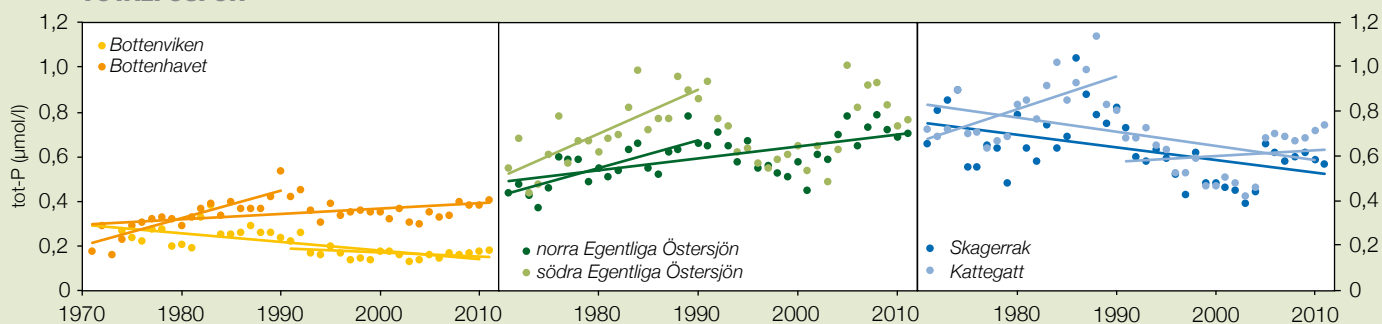
➤ Inga signifikanta förändringar i temperaturen kan ses i Bottniska viken. I norra och centrala Egentliga Östersjön minskade temperaturen i bottenvattnet signifikant under den första mätperioden. Däremot ökade temperaturen signifikant i hela Egentliga Östersjön och Västerhavet under den andra perioden. Ökningen är också signifikant för hela mätperioden.

SYREHALTER I BOTTENVATTEN

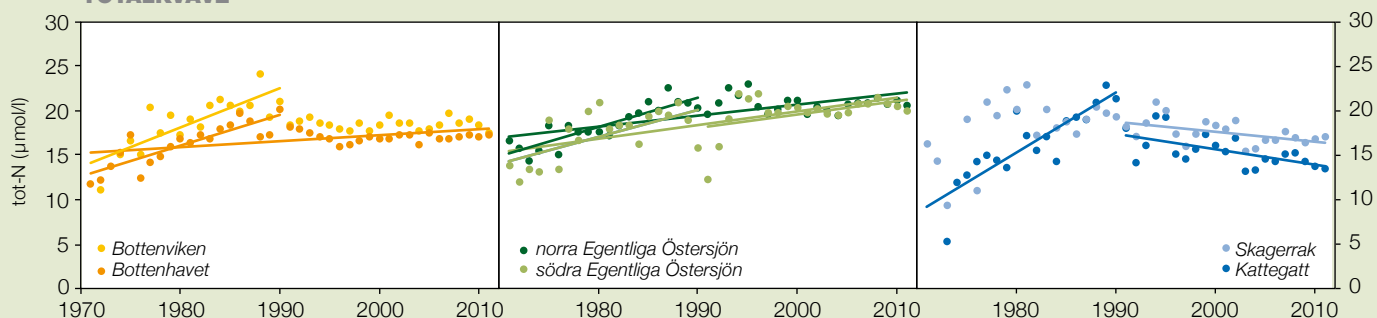


➤ I Bottenviken ligger syrehalterna på höga nivåer och inga förändringar kan ses. I Bottenhavet har syrehalterna i bottenvattnet minskat signifikant, troligen på grund av de försämrade syreförhållandena i Östersjöns mellanskikt som bildar djupvattnet i Bottenhavet. I Egentliga Östersjön är det numera sällsynt med stora inflöden från Västerhavet, i de södra delarna sker normalt några mindre vattenutbyten per år, medan stagnationsperioderna i de norra delarna kan vara långa. Syrehalterna har minskat signifikant i hela bassängen under mätperioden. I Västerhavet, där djupvattnet består av salt Nordsjövatten är vattenomsättningen god och i Skagerrak finns inga problem med låga syrehalter. I Kattegatt kan omsättningen av djupvatten under kortare perioder vara begränsad. Under första perioden har en signifikant minskning skett i både Skagerrak och Kattegatt, och i Skagerrak även över hela perioden. Minskningen är dock mycket liten.

TOTALFOSFOR

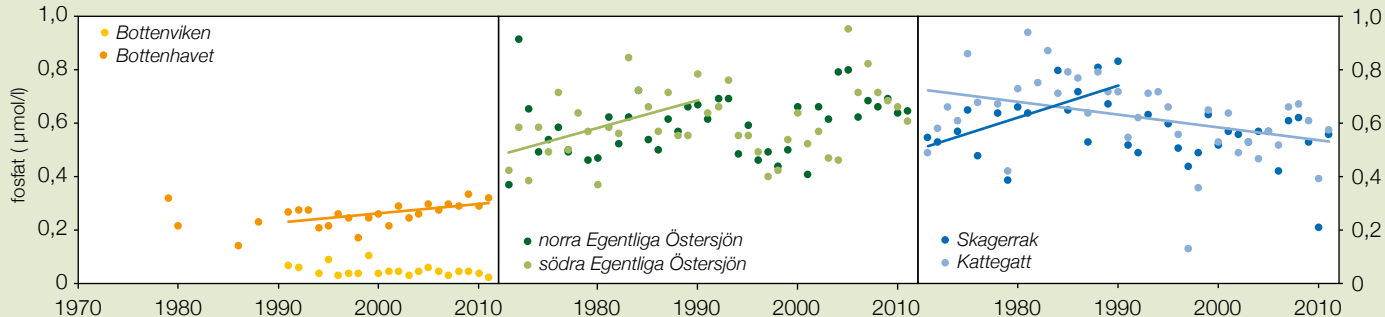


TOTALKVÄVE

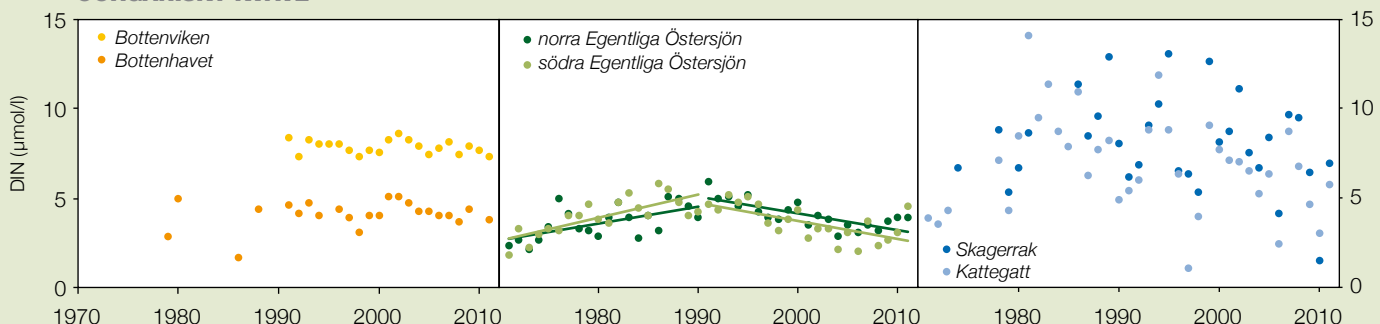


↗ Variationer i totalfosfor och totalkväve under året är liten. Under vintern består största delen av totalfosforhaltena och en betydande del av totalkvävehaltena av oorganiska fraktioner. Vår och sommar domineras totalhaltena av organiskt material när de oorganiska fraktionerna tas upp av planktonsamhället. Halterna av totalfosfor och totalkväve ökade signifikant i nästan alla havsområden fram till slutet av 1980-talet. Totalfosforhaltena minskade sedan under 1990-talet för att därefter öka igen under 2000-talet. Totalkvävehaltena har under den andra mätperioden legat på samma nivå i Bottniska viken samt norra och centrala Egentliga Östersjön, men ökat i södra Egentliga Östersjön. I Västerhavet har däremot en signifikant minskning skett under den senare mätperioden.

OORGANISKT FOSFOR



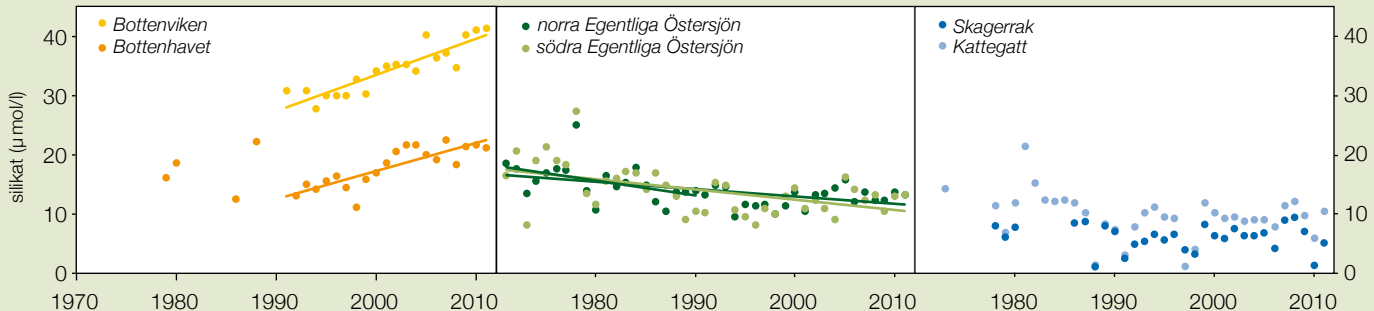
OORGANISKT KVÄVE



↗ Halterna av fosfat ökade signifikant i södra Egentliga Östersjön och Skagerrak under den första mätperioden. I Egentliga Östersjön har sedan fosfathaltena minskat fram till 2000 för att under det sista årtiondet åter öka. Ökningen de sista åren beror troligen framför allt på interna processer, inte på belastningen från land. Fosfor frigörs istället från sedimenten vid långvarig syrebrist. Det finns en tendens till minskning de senaste åren. I Bottenhavet har fosfathaltena ökat signifikant under den andra mätperioden, medan haltena i Bottenviken ligger på oförändrat låga nivåer hela mätperioden. I Västerhavet har istället fosfathaltena minskat, i Kattegatt är minskningen signifikant under hela perioden.

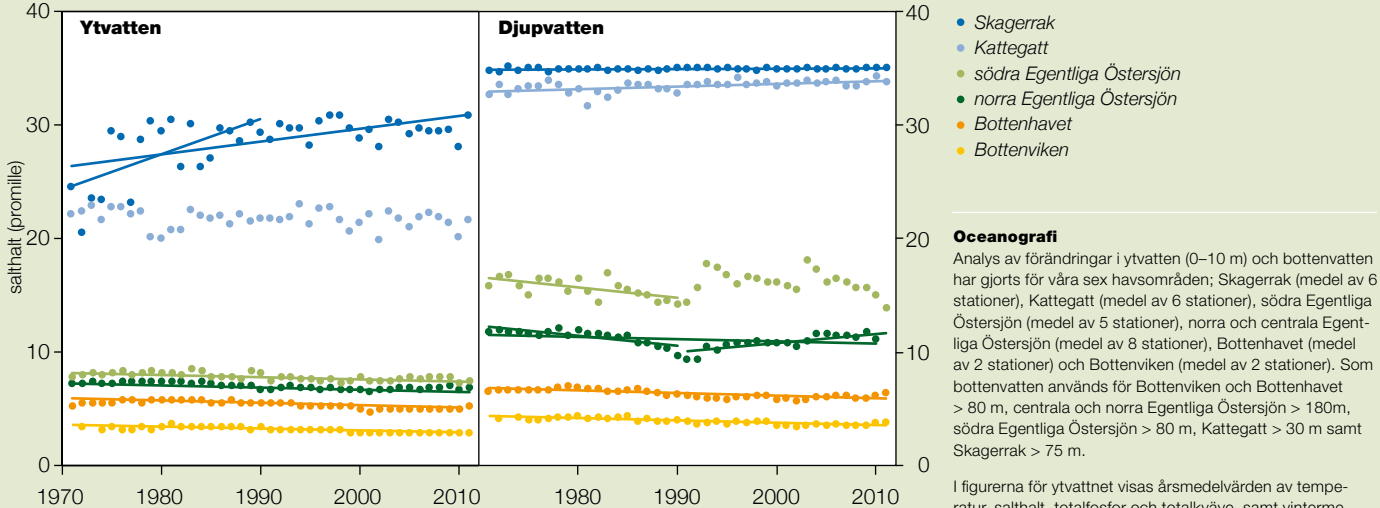
↗ Halterna av oorganiskt kväve ökade signifikant i Egentliga Östersjön under den första mätperioden för att sedan minska signifikant under den andra mätperioden. I Västerhavet är årsvariationen större på grund av vattenutbytet med Nordsjön och inga trender kan ses. Inte heller Bottniska viken visar någon signifikant förändring i halten av oorganiskt kväve under den senare perioden.

KISEL



➤ Halterna av kisel har ökat signifikant i Bottniska viken under den senare mätperioden. I Egentliga Östersjön har kiselhalterna istället minskat signifikant för hela bassängen över hela perioden. I Västerhavet finns inga signifikanta förändringar.

SALTHALT



➤ I Bottniska viken har salthalten i ytvattnet minskat signifikant under hela mätperioden. Även i Egentliga Östersjön har en minskning skett över hela perioden. I Skagerrak har salthalten ökat signifikant under den första perioden samt hela perioden. Detta beror dock troligtast på den stora variationen under 1970-talet. I Kattegatt kan inga signifikanta förändringar ses.

Salthalten i djupvattnet har minskat i Bottniska viken under perioden. I södra Egentliga Östersjön styrs salthalten av större inflöden av saltvatten från Nordsjön, och de sista stora inflödena 1983, 1993 och 2003 syns tydligt i södra delen. Här minskade salthalten signifikant under den första mätperioden, men har sedan varierat. I norra och centrala Egentliga Östersjön har salthalten minskat den första perioden och ökat den andra, totalt har en minskning skett under hela mätperioden. I Kattegatt och Skagerrak har salthalten istället ökat signifikant över hela perioden.

Oceanografi

Analys av förändringar i ytvatten (0–10 m) och bottenvattnet har gjorts för våra sex havsområden; Skagerrak (medel av 6 stationer), Kattegatt (medel av 6 stationer), södra Egentliga Östersjön (medel av 5 stationer), norra och centrala Egentliga Östersjön (medel av 8 stationer), Bottenhavet (medel av 2 stationer) och Bottenviken (medel av 2 stationer). Som bottenvattnet används för Bottenviken och Bottenhavet > 80 m, centrala och norra Egentliga Östersjön > 180m, södra Egentliga Östersjön > 80 m, Kattegatt > 30 m samt Skagerrak > 75 m.

I figurerna för ytvattnet visas årsmedelvärden av temperatur, salthalt, totalfosfor och totalkväve, samt vintermedelvärden (januari–februari i Västerhavet, januari–mars för övriga havsområden) för de oorganiska närsalterna fosfat, DIN (nitrat+nitrit+ammonium) och silikat. I figurerna för bottenvattnet visas årsmedelvärden av temperatur och salthalt, samt månadsmedelvärden av syrehalt. När svavelväte förekommer räknas denna koncentration om till negativt syre, dvs. hur mycket syre som behövs för att oxidera svavelvätet. Analys av trender har gjorts med enkel linjär regression, dels för hela perioden 1971–2011, dels för perioderna 1971–1990 och 1991–2011. I figurerna är endast signifikanta förändringar ($p < 0,05$) markerade. I Bottniska viken är dataunderlaget för den första mätperioden, 1971–1990, varierande då få mätningar har gjorts under året. Inga trendanalyser av temperatur och oorganiska närsalter har därför gjorts för denna period.