

Långtidsserier från Husö biologiska station

- Provtagningar 1987–2020



Foto: Tony Cederberg 2020



Sammanställt av:

Tony Cederberg
Husö biologiska station
Åbo Akademi
2021

Innehåll

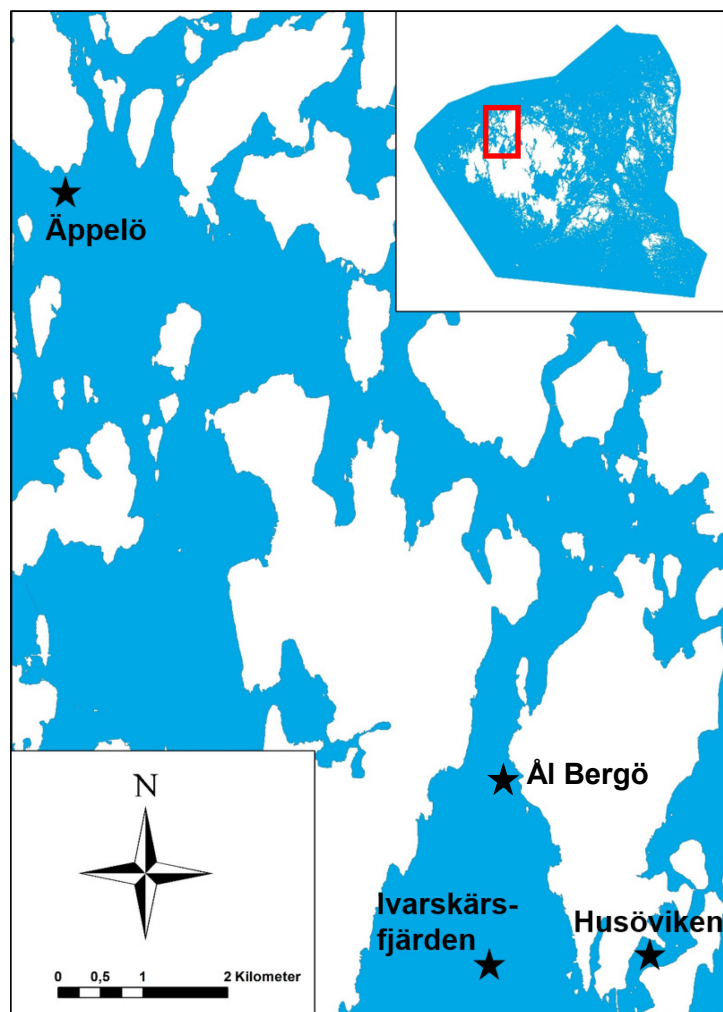
1 Provtagningsstationer	1
2 Ytvattentemperatur	2
2.1 Marina värmeböljor och köldknäppar (text och figurer: Lucinda Kraufvelin)	4
3 Siktdjup	8
4 Salinitet	10
5 Närsalter	11
5.1 Totalkväve	12
5.2 Totalfosfor	13
6 Klorofyll-a	15
7 Syrehalt i bottenvatten	16
8 Ål Bergö	17
9 Sammanfattning.....	19
10 Källor.....	19

1 Provtagningsstationer

Husö biologiska station har ett eget provtagningsprogram för den nordvästra skärgården på Åland som löpt på sedan slutet av 1980-talet. På Husö biologiska station provtas stationerna: Husöviken, Ivarskär och Äppelö regelbundet under tiden maj-september. De parametrar som provtas är temperatur, siktdjup, klorofyll-a, totalkväve, totalfosfor, salinitet och syrehalt. I Husöviken och Äppelö tas prov från en meters djup. I Ivarskärsfjärden tas prov från 1m, 5m och 9m. Provtagningspunkternas läge framgår av figur 1 här nedan. Husöviken besöks i regel två gånger per vecka medan Ivarskär en gång per vecka. Äppelö besöks en gång per månad.

Från och med 2005 har det även pågått temperaturmätningar vid ändan av bryggan vid Husös brygga i Husöviken. Mätvärden har registrerat med två timmars intervall och temperaturregistreringen har pågått så länge det varit isfritt.

Sedan 2017 har även provpunkten Ål Bergö besöks regelbundet under sensommaren (juli-september). Ål Bergö är en provpunkt som besöks i samband med olika undersökningar sedan 1970-talet (SANDBERG et al. 1989, NYGÅRD 2007, CEDERBERG et al. 2015). Ål Bergö är en relativt djup punkt i innerskärgården och på lokalen varierar djupet mellan 26–28 meter. Provtagningen på denna punkt har sedan 2016 riktats mot att följa med syreförhållanden i bottenvattnet efter att det i CEDERBERG et al. (2016) konstaterades att det fanns ett behov av att följa med syresituationen i bottenvattnet i området. Med detta i åtanke har prov med vattenhämtare tagits från 20, 23 och 25 meters djup. I mån av möjlighet har även en optisk syremätare (YSI-ODO) använts för mätning av temperatur och syrehalt på ett större antal djup. Ål Bergö kommer att behandlas skilt från övriga provtagningsstationer i denna rapport.

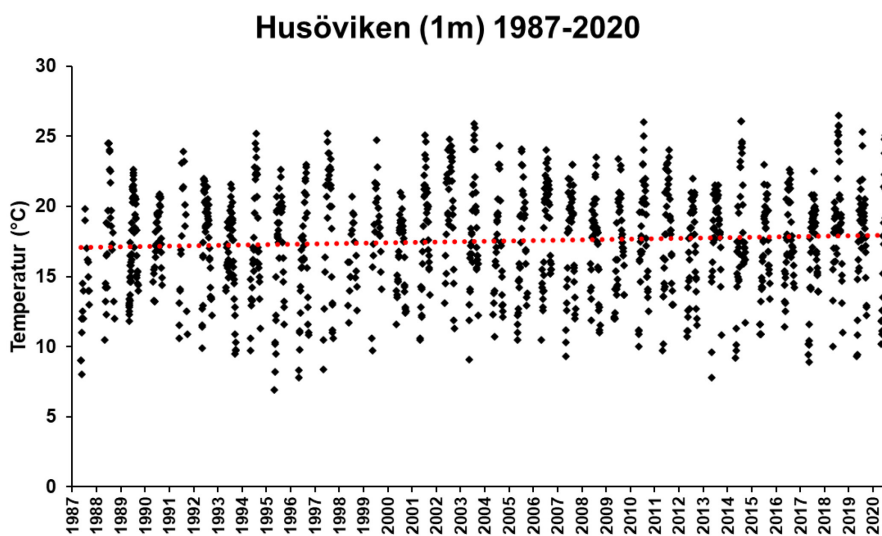


Figur 1. Husö biologiska stations provtagningsstationer.

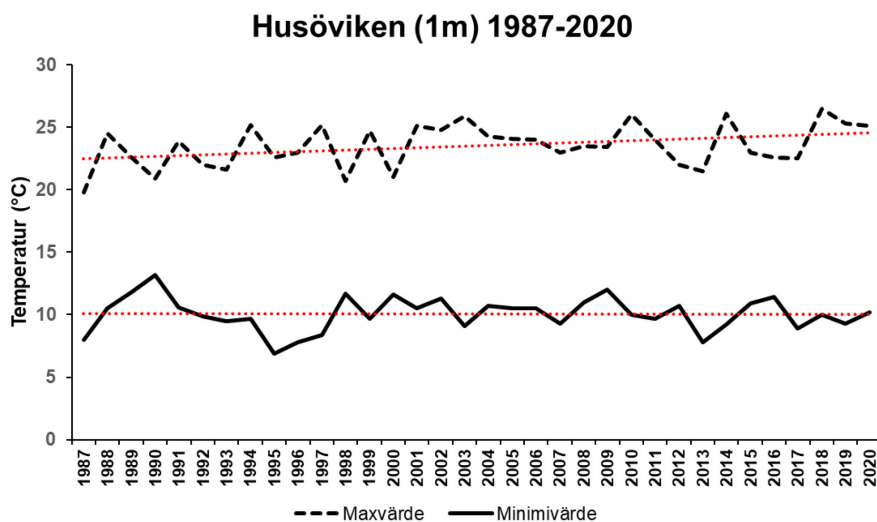
2 Ytvattentemperatur

Ytvattentemperaturen i världshaven har stigit under det senaste seklet som en följd av den globala klimatförändringen (RHEIN et al. 2013). Även i Östersjön har ytvattentemperaturerna stigit och förväntas stiga i framtiden (HELCOM 2007).

På Husös tre långtidsprovtagningsstationer kan man se en svag ökning i ytvattentemperatur (1m) under sommarhalvåret under de år som provtagningarna har pågått. Extremvärdena (dvs. sommarhalvårets högsta respektive lägsta uppmätta värden) för ytvattentemperaturen i Husövikens och Ivarskär uppvisar en trend där sommarhalvårets lägsta värden visar en sjunkande trend samtidigt som de högsta värdena uppvisar en stigande trend (fig 3, fig. 5 och fig.7). Vid Äppelö kan inte några generella trender gällande extremvärden ses. Det bör dock påpekas att vid Äppelö har provtagningsfrekvensen varit lägre på 2000-talet jämfört med 1990-talet vilket bör tas i beaktande vid tolkning av figurerna (fig. 2–7).

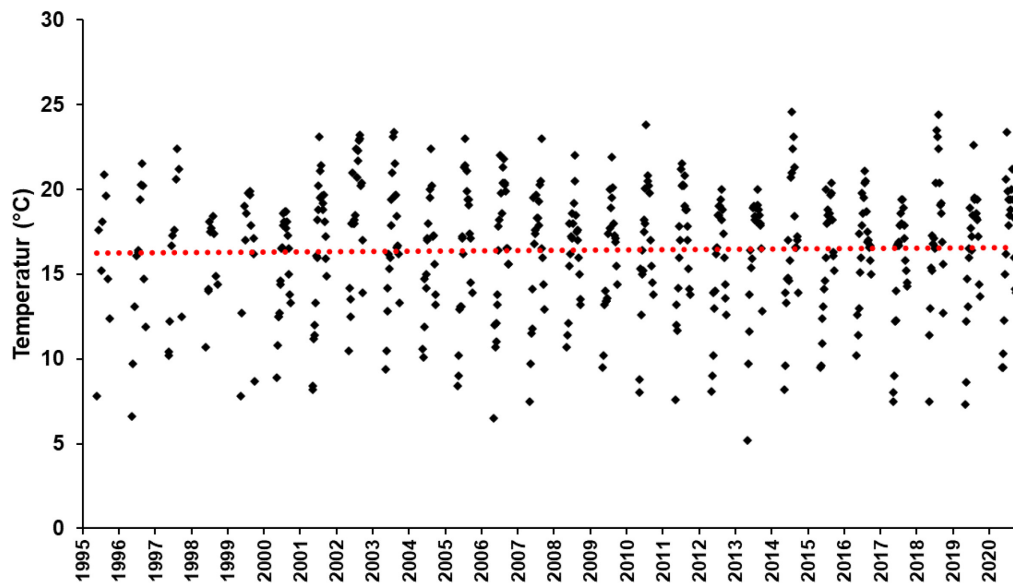


Figur 2. Ytvattentemperaturen (1m) under sommarhalvåret (maj-september) i Husövikens 1987–2020. Den streckade linjen = linjär trendlinje.



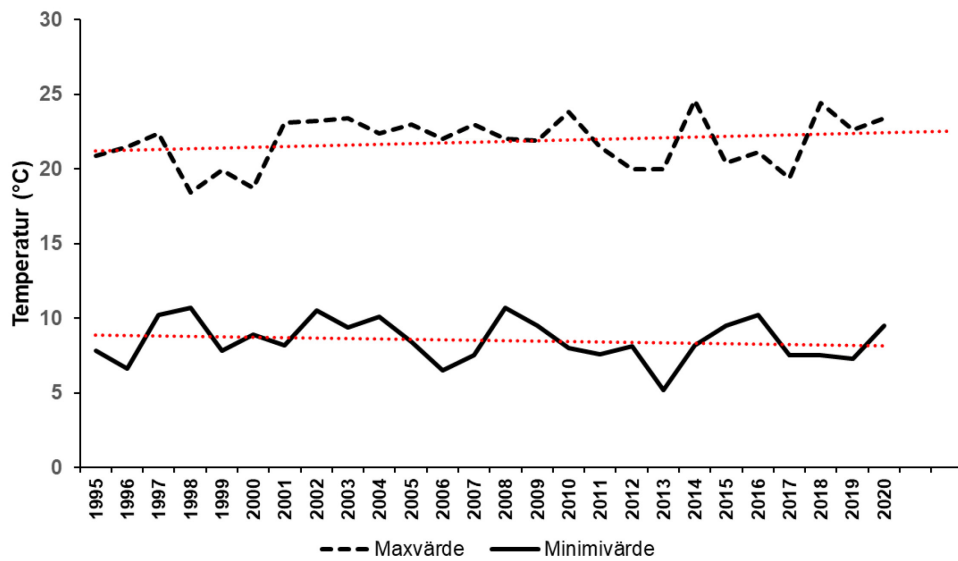
Figur 3. Extremvärden för sommarhalvårets ytvattentemperaturer (maj-september) i Husövikens 1987–2020. De streckade linjerna = linjära trendlinjer.

Ivarskär (1m) 1995-2020



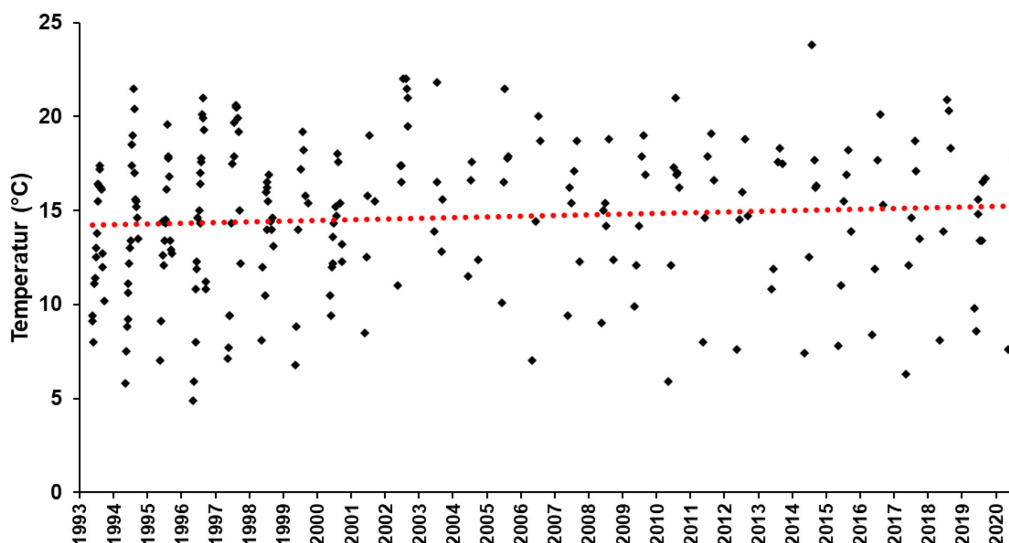
Figur 4. Ytvattentemperaturen (1m) under sommarhalvåret (maj-september) i Ivarskär 1995–2020. Den streckade linjen = linjär trendlinje.

Ivarskär (1m) 1995-2020



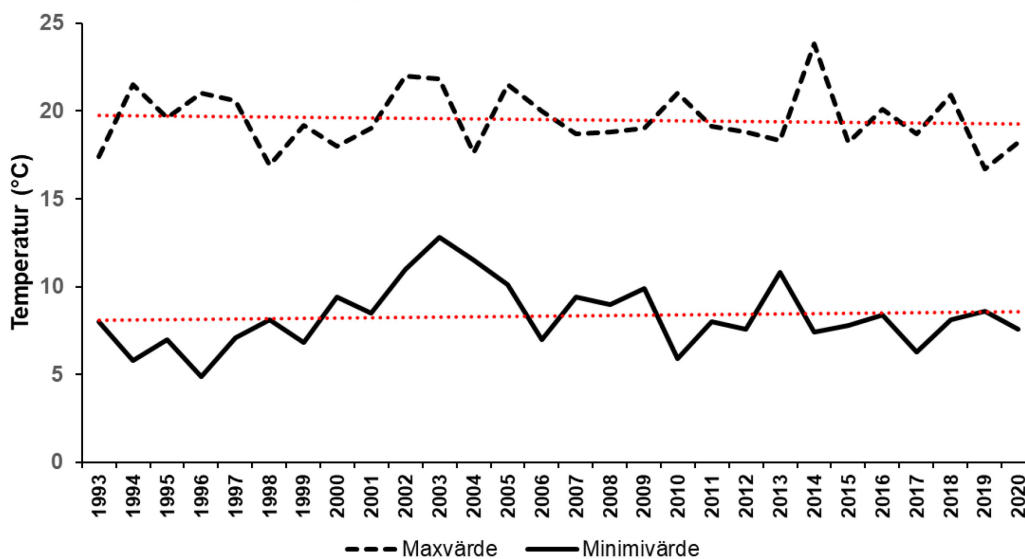
Figur 5. Extremvärden för sommarhalvårets (maj-september) i Ivarskär 1995–2020. De streckade linjerna = linjära trendlinjer.

Äppelö (1m) 1993-2020



Figur 6. Ytvattentemperaturen (1m) under sommarhalvåret (maj-september) i Äppelö 1993–2020. Den streckade linjen = linjär trendlinje.

Äppelö (1m) 1993-2020



Figur 7. Extremvärden för sommarhalvårets (maj-september) i Äppelö 1993–2020. De streckade linjerna = linjära trendlinjer.

2.1 Marina värmeböljor och köldknäppar (text och figurer: Lucinda Kraufvelin)

En marin värmebölja definieras som en period på fem eller flera på varandra efterföljande dagar, under vilka havsvattentemperaturen överstiger den 90:e percentilen. Detta värde bestäms utgående från lokal klimatologi, och denna baserar sig vanligtvis på minst 30 år av historiska temperaturdata (HOBDAY et al. 2016).

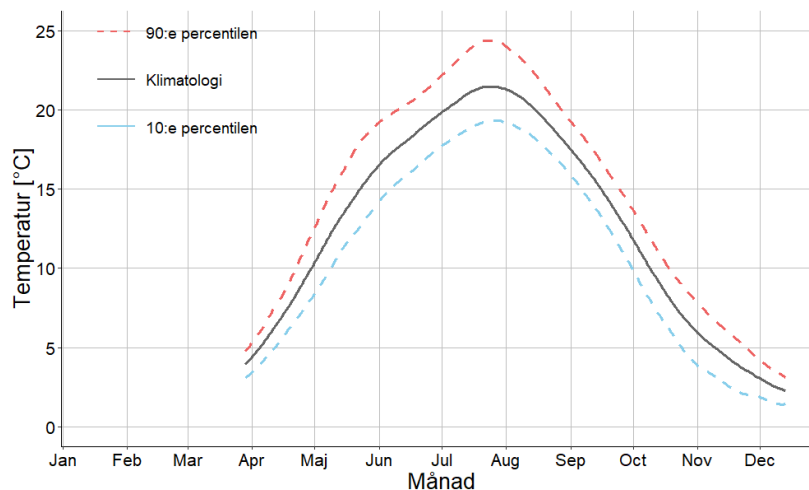
Klimatforskning har hittills till stor del fokuserat på gradvis skiftande medelvärden. Det bör påpekas att en ökad variation med kraftigare extremhändelser, kan utgöra ett större hot mot arter och ekosystem, eller till och med förstärka de negativa effekterna. Något som lätt kan förbises om endast skiftande medelvärden analyseras (HELMUTH et al. 2014, VASSEUR et al. 2014). Extrema händelser såsom marina värmeböljor påverkar levande organismers fysiologi och deras tillväxt, reproduktion och

överlevnad. Detta kan driva förändringar i artsammansättning och biodiversitet, och till och med förändra ekosystemens struktur och funktion (WERNBERG et al. 2013).

Globalt sett utgör Östersjön ett av de havsområden där ytvattentemperaturen för tillfället stiger snabbast (BELKIN 2009, MACKENZIE & SCHIEDEK 2007, MEIER & SARAIVA 2020). Eftersom temperaturökningen är en av de främsta drivkrafterna bakom en ökad frekvens av marina värmeböljor, tillsammans med varaktigheten och intensitet (OLIVER 2019), kommer detta sannolikt att påverka Östersjön allt tydligare i framtiden.

På Husö biologiska station har det vid bryggan på 1m djup utförts temperaturmätningar med en temperaturlogger sedan 2005. Temperaturmätningarna har utförts under den isfria tiden av året. Figurerna nedan baserar sig därför på data mellan 29:e mars och 13:e december som är det datumintervall som det generellt sett varit öppet vatten vid Husös brygga under 2005-2020. Visualisering av data har utförts med hjälp av "heatwaveR" (SCHLEGEL & SMIT 2018). Den övre streckade linjen representerar den 90:e percentilen och den nedre den 10:e percentilen. Medeltemperaturen (klimatologin) mellan 2005-2020 för varje dag representeras av den svarta linjen mellan percentilerna (fig. 8). Färgmarkeringarna i figur 9 förklaras därtill enligt:

- Rött = marin värmebölja (förutsatt att temperaturen hålls över 90:e percentilen i fem eller fler dagar).
- Orange = temperaturen är varmare än medeltemperaturen, men under den 90:e percentilen.
- Ljusblå = temperaturen är kallare än medeltemperaturen, men över den 10:e percentilen.
- Mörkblå = köldknäpp (förutsatt att temperaturen hålls under 10:e percentilen i fem eller fler dagar).



Figur 8. Den använda klimatologin och percentilerna i visualiseringen av klimatologin från Husö 2005–2020.

Under 2005-2020 registrerades sammanlagt 33 marina värmeböljor och 26 marina köldknäppar i materialet från Husös brygga (tab. 1). Flest marina värmeböljor registrerades år 2018 (6 st.) medan det under år 2008 registrerades flest marina köldknäppar (4 st.).

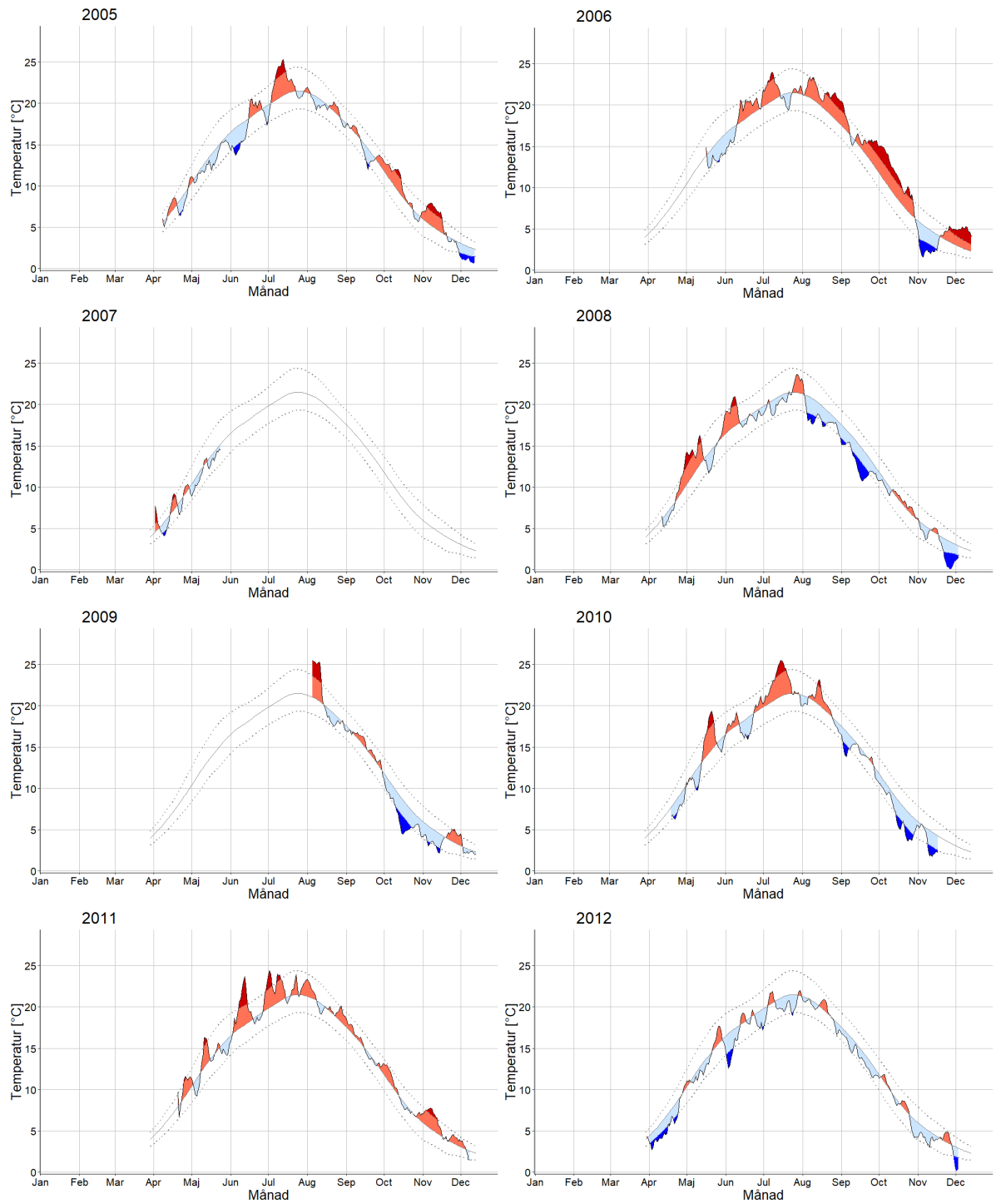
Tabell 1. Antal registrerade marina värmeböljor och köldknäppar vid husös brygga under åren 2005-2020.

År	Antal marina värmeböljor	Antal marina köldknäppar
2005	3	2
2006	4	1
2007	-	-
2008	2	4
2009	1	1
2010	2	2
2011	3	-
2012	-	2
2013	1	2
2014	2	2
2015	2	1
2016	1	2
2017	-	2
2018	6	2
2019	2	2
2020	4	1

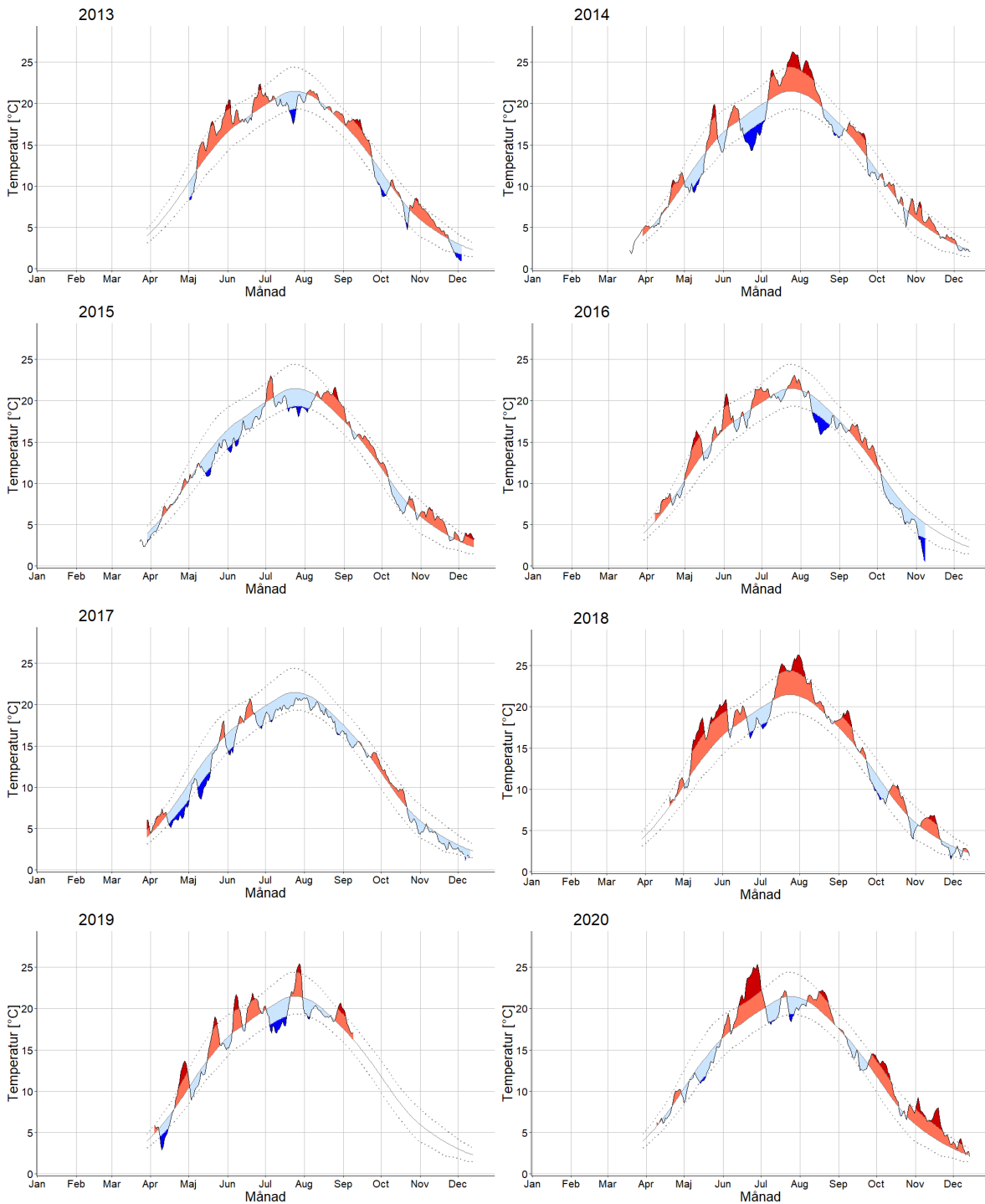
Under åren 2007, 2009 och 2019 utfördes temperaturmätningar inte för delar av perioden som täcktes av klimatologin p.g.a. tekniska problem med temperaturloggern. Identifieringen av marina värmeböljor samt marina köldknäppar för dessa år är av denna orsak bristfällig (fig. 9). De generellt varmaste åren sedan 2005 har utifrån det material som samlats in vid Husö brygga varit: 2006, 2011, 2013, 2014, 2018 och 2020. De kallaste åren har varit 2012 och 2017. Man kan således se en svag förskjutning av extremåren mot den senare hälften av denna provtagningsserie.

I figur 9, kan man även utläsa att om de marina värmeböljorna ägt rum relativt jämt under året om man delar in året i två delar april-juli och augusti-december och utgår från startdatum när de marina värmeböljorna startat, resultatet blir då 16 respektive 17 stycken marina värmeböljor under 2005–2020. Vad gäller marina köldknäppar finns ingen skillnad i antal köldknäppar under de ovannämnda tidsperioderna då 13 köldknäppar har registrerats under april-juli och 13 köldknäppar under augusti-december.

Vid tolkandet klimatologifigurerna nedan är det bra att ha i åtanke att figurerna baserar sig på temperaturmätningar som utförts under en tid då det har konstaterats att en temperaturökning har ägt rum (SYKE 2021). Därtill baserar sig figurerna på endast 15 års data framom det normala som brukar bestå av minst 30 års data (HOBDAY et al. 2016). Detta innebär följaktligen att resultaten skulle framstå som ännu mer extrema om underliggande data från en längre tid tillbaka skulle ha funnits tillgängligt.



Figur 9. Klimatologi för åren 2005–2012 vid Husö biologiska stations brygga (1m djup).



Figur 9 forts. Klimatologi för åren 2013–2020 vid Husö biologiska stations brygga (1m djup).

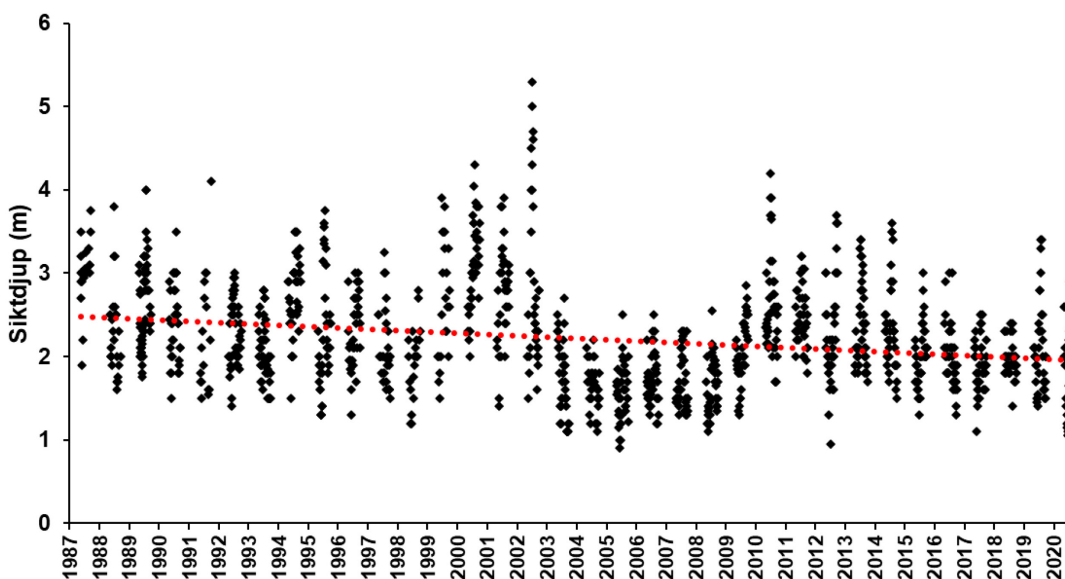
3 Siktdjup

Siktdjupet är ett mått på hur långt solljuset förmår tränga ner i vattnet, dvs. siktdjupet är en parameter som beskriver vattnets grumlighet (ÖSTERSJÖN.FI 2021). Vattnets grumlighet styrs av flera faktorer, bl.a.: egenfärg (främst halten av lösta humuspartiklar), suspenderat material (växtplankton och detritus) och i specialfall av oorganiskt partikulärt material (lerpartiklar) (NATURVÅRDSVERKET 2007). Under våren påverkas siktdjupet av växtplankton, lerpartiklar och hummus. Senare under sommaren påverkas

siktdjupet i huvudsak av växtplanktonmängden (ÖSTMAN & BLOMQVIST 1997). Siktdjupet är en enkel och billig metod med vilken man får ett grovt mått på hur klart vattnet är (DODDS & WHILES 2010) och således får man även under sommarmånaderna ett grovt mått på hur mycket alger det finns i vattnet vilket i sin tur ger en indikation på övergödningsgraden (NATURVÅRDSVERKET 2007).

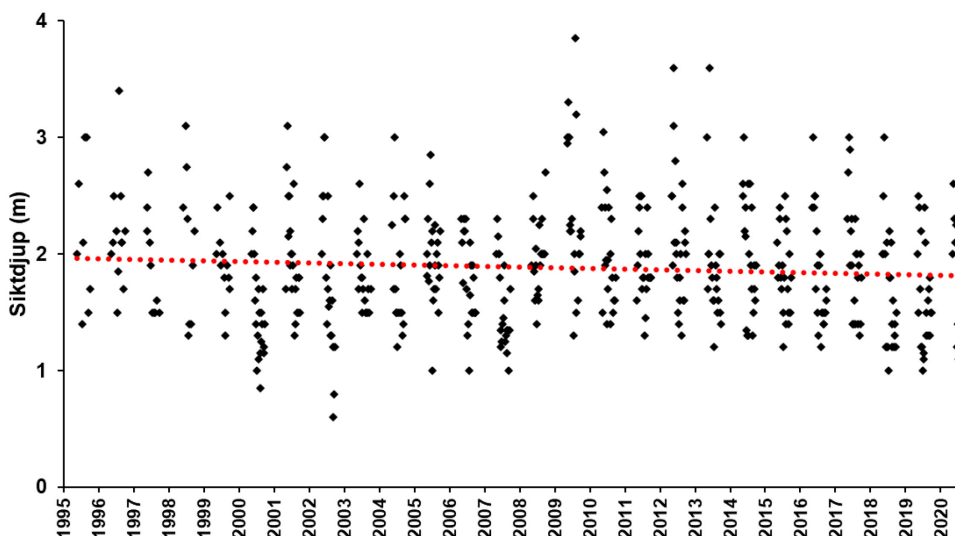
I Husövik och vid Äppelö kan man se att siktdjupet under sommarmånaderna har minskat med nästan 0,5m sedan slutet av 1980-talet resp. mitten av 1990-talet. Vid Äppelö uppmättes 7.7.2020 det hittills lägsta siktdjupet vid den stationen. Denna dag registrerades ett siktdjup på endast 1,7 meter. Detta var samtidigt den första gången siktdjupen understigit två meter vid Äppelö sedan platsen började regelbundet besökas år 1993. I Ivarskärsfjärden har siktdjupet hållits på en relativt jämn nivå sedan medlet av 1990-talet men även här kan en svag trend mot minskat siktdjup ses (figur 10–12).

Husövik 1987-2020

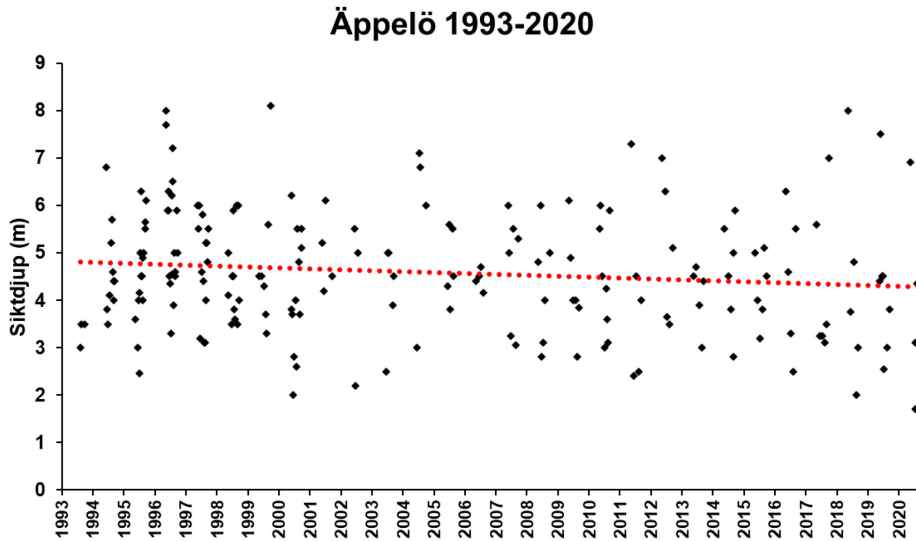


Figur 10. Sommarhalvårets (maj-september) siktdjup i Husövik åren 1987–2020. Den streckade linjen = linjär trendlinje.

Ivarskär 1995-2020



Figur 11. Sommarhalvårets (maj-september) siktdjup i Ivarskärsfjärden åren 1995–2020. Den streckade linjen = linjär trendlinje.

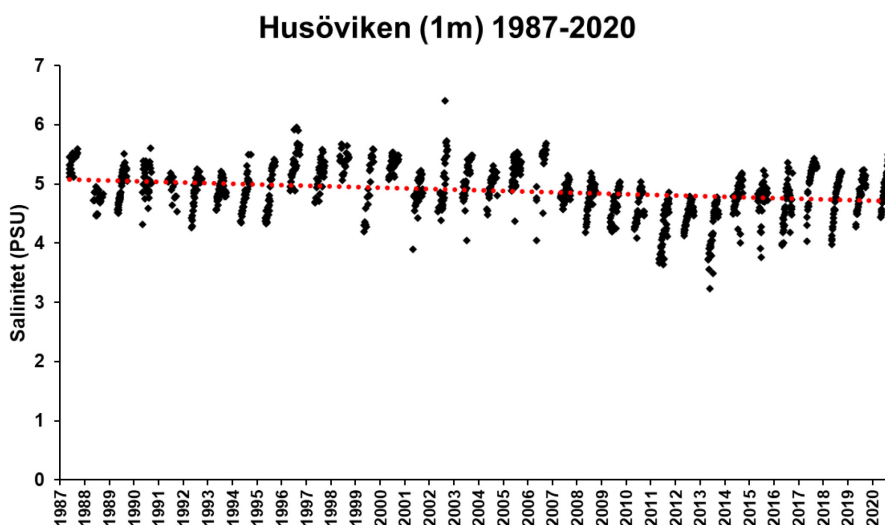


Figur 12. Sommarhalvårets (maj-september) siktdjup vid Äppelö åren 1993–2020. Den streckade linjen = linjär trendlinje.

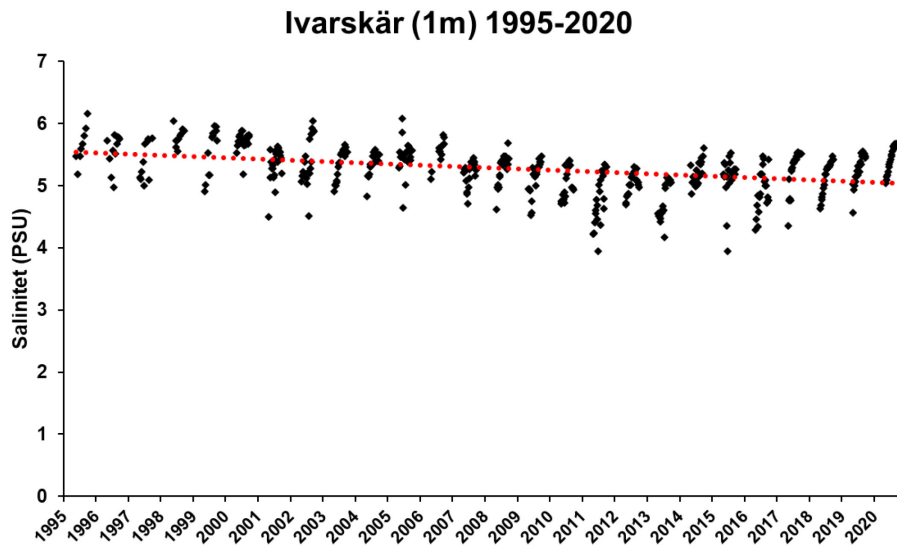
4 Salinitet

I Östersjöområdet finns stora skillnader i salinitet. I Kattegatt i väst är saliniteten kring 25 promille medan saliniteten i södra Östersjön är ca 8 promille och i norra Bottniska viken är saliniteten endast ca 2 promille (BALTIC SEA 2020 2017). Som en följd av klimatförändringen förutspås det att saliniteten i Östersjön kommer att sjunka i framtiden. Detta kan ha stora effekter på hela Östersjöns ekosystem, då flera av Östersjöns marina arters utbredning och tillväxt begränsas av Östersjöns låga salthalt (HELCOM 2013).

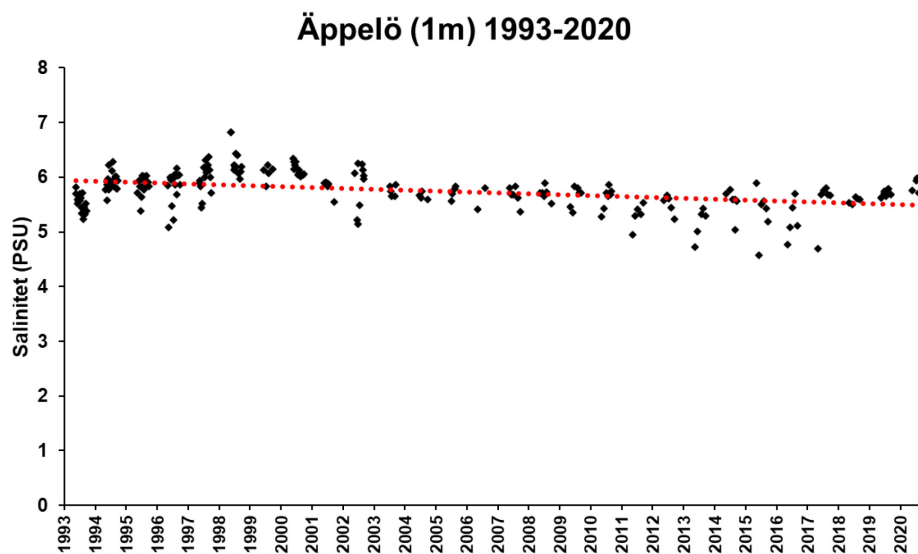
På samtliga av Husös tre långtidsprovtagningsstationer kan man se att en minskning av salthalten har ägt rum sedan 1990-talet. En svagt stigande trend under de senaste fem åren kan dock ses (fig. 13–15). Detta skulle kunna förklaras med att det under december 2014 kom in stora mängder saltvatten i Östersjön (MOHRHOLZ et al. 2015). På grund av sättet som vattnet cirkulerar i Östersjön, ser man inte effekterna av ett dylikt saltvattenintrång vid de danska sunden genast här på Åland, utan effekterna kommer med en fördröjning.



Figur 13. Sommarhalvårets (maj-september) salinitet i Husöviken åren 1987–2020. Den streckade linjen = linjär trendlinje.



Figur 14. Sommarhalvårets (maj-september) salinitet i Ivarskär åren 1995–2020. Den streckade linjen = linjär trendlinje.



Figur 15. Sommarhalvårets (maj-september) salinitet vid Äppelö åren 1993–2020. Den streckade linjen = linjär trendlinje.

5 Närsalter

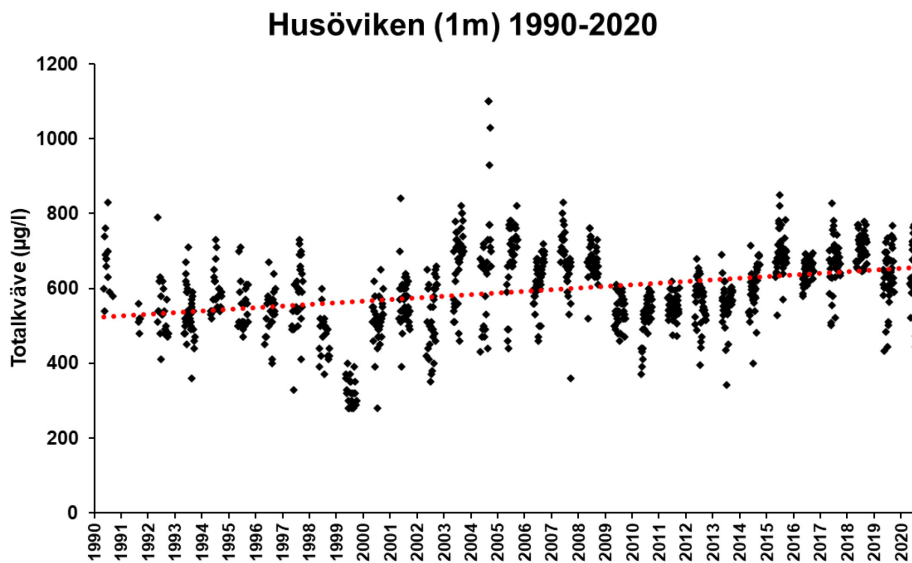
Kväve och fosfor är de viktigaste näringsämnen i havet. Havets olika organismer tar i huvudsak upp dessa näringsämnen i jonform, fosfor som fosfat och kväve som nitrat, nitrit eller ammonium. När det tillförs för mycket näringsämnen till havet talar man om övergödning (SMHI 2017). Övergödning kan leda till förändringar i struktur och funktion av hela marina ekosystem samtidigt som ekosystemets stabilitet försämras (HELCOM 2009).

Förhållandet mellan kväve och fosfor är också viktigt. För växtplankton är det optimala förhållandet mellan kväve och fosfor 16:1 (dvs. 16 kväveatomer för varje fosforatom) (REDFIELD 1958). En kväve-fosforkvot som är signifikant lägre än 16:1 indikerar att kväve är det begränsande näringsämnet medan

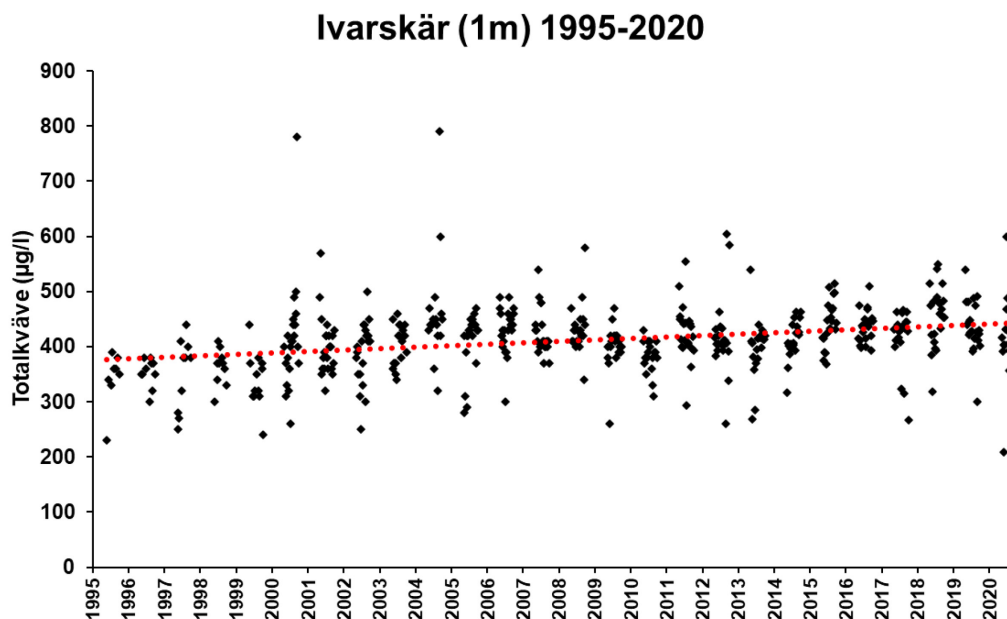
en signifikant högre kvot tyder på att fosfor är det begränsande näringsämnet. Avvikelser i förhållandet mellan kväve och fosfor kan ha stora effekter vad gäller primärproduktionen, växtplanktonbiomassa och –artsammansättning. Detta i sin tur kan påverka hela näringskedjan (HELCOM 2009). Traditionellt har man ansett att kväve är det begränsande näringsämnet i marina vatten (NIXON et al. 1996) medan fosfor är det begränsande näringsämnet i sötvatten (SCHINDLER 1974). Det har dock påvisats att närsaltsbegränsningen kan variera beroende på t.ex. årstid (DANIELSSON & RAHM 2008).

5.1 Totalkväve

På Husö biologiska stations provtagningspunkter kan man se att överlag verkar kvävehalterna ha ökat sedan 1990-talet (fig. 16–18). I Husövikens har halterna fluktuerat under årens lopp. Denna fluktuation verkar ha avstannat något och under de senaste fem åren har totalkvävehalterna legat på en relativt stabil nivå på samtliga stationer.

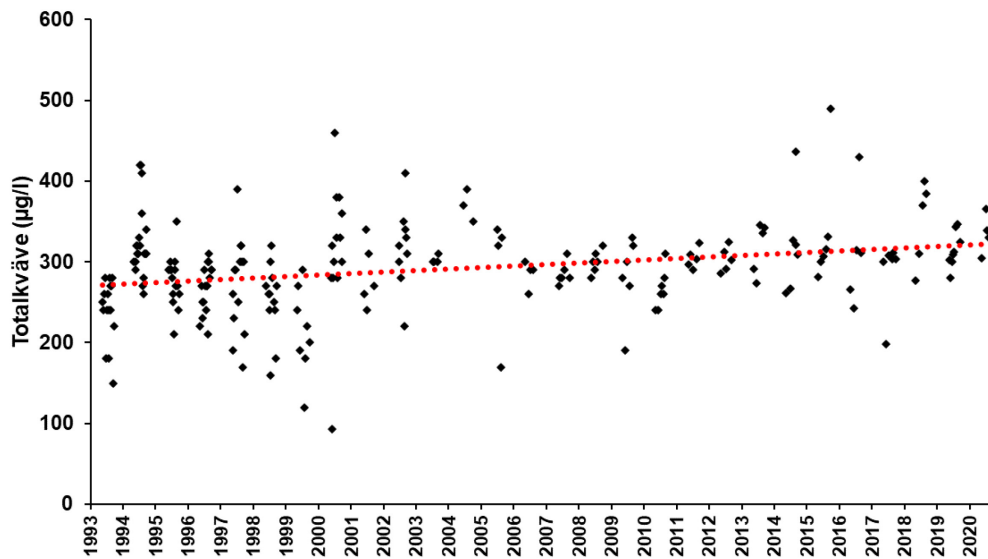


Figur 16. Sommarhalvårets (maj-september) totalkvävehalter i Husövikens ytvatten åren 1990–2020. Den streckade linjen = linjär trendlinje.



Figur 17. Sommarhalvårets (maj-september) totalkvävehalter i Ivarsjärns ytvatten åren 1995–2020. Den streckade linjen = linjär trendlinje.

Äppelö (1m) 1995-2020

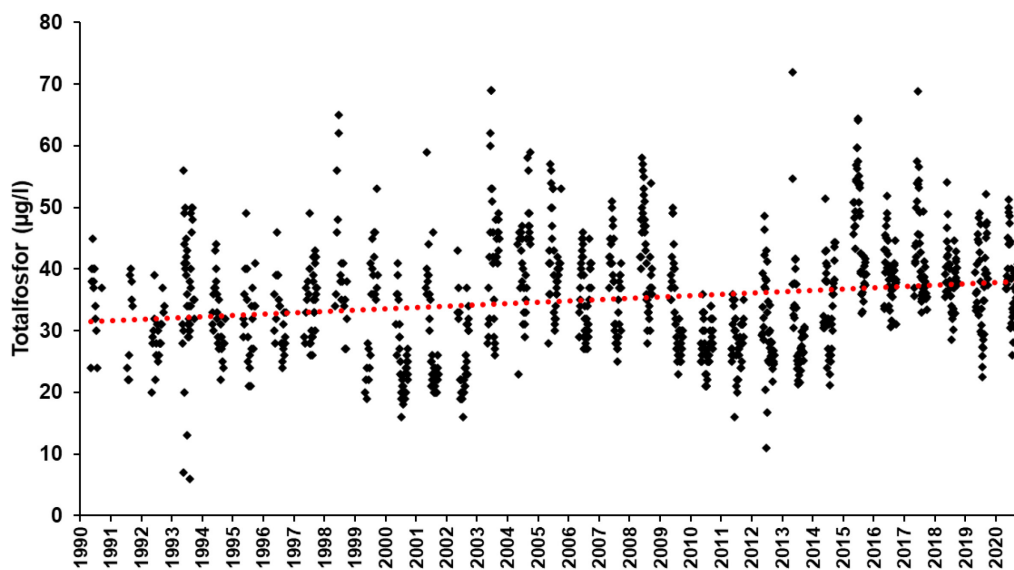


Figur 18. Sommarhalvårets (maj-september) totalkvävehalter i Äppelö åren 1993–2020. Den streckade linjen = linjär trendlinje.

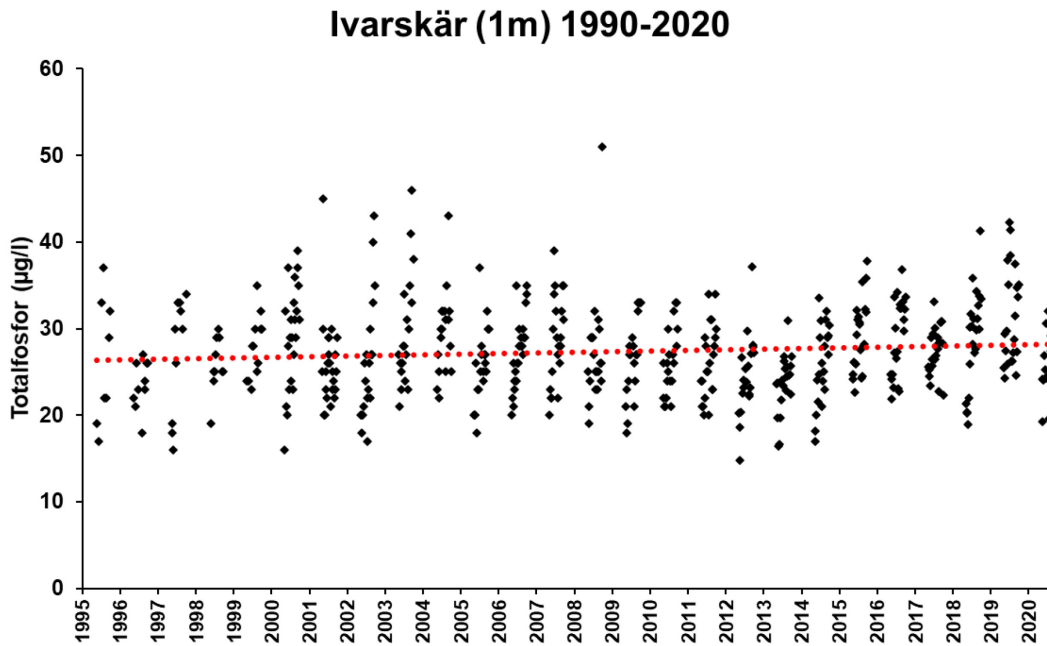
5.2 Totalfosfor

I Husövikens och Äppelös ytvatten kan man se en generell ökning i totalfosforhalten sedan 1990-talet. I Ivarskär däremot har totalhalterna av fosfor inte ändrats märkbart sedan 1990-talet, i bottenvattnet vid Ivarskär visar totalfosforhalten en svag sjunkande trend t.o.m. (fig. 19–22). På motsvarande sätt som för totalkvävehalter kan man se att totalfosfornivåerna på samtliga tre stationer har legat på en relativt stabil nivå under de senaste fem åren.

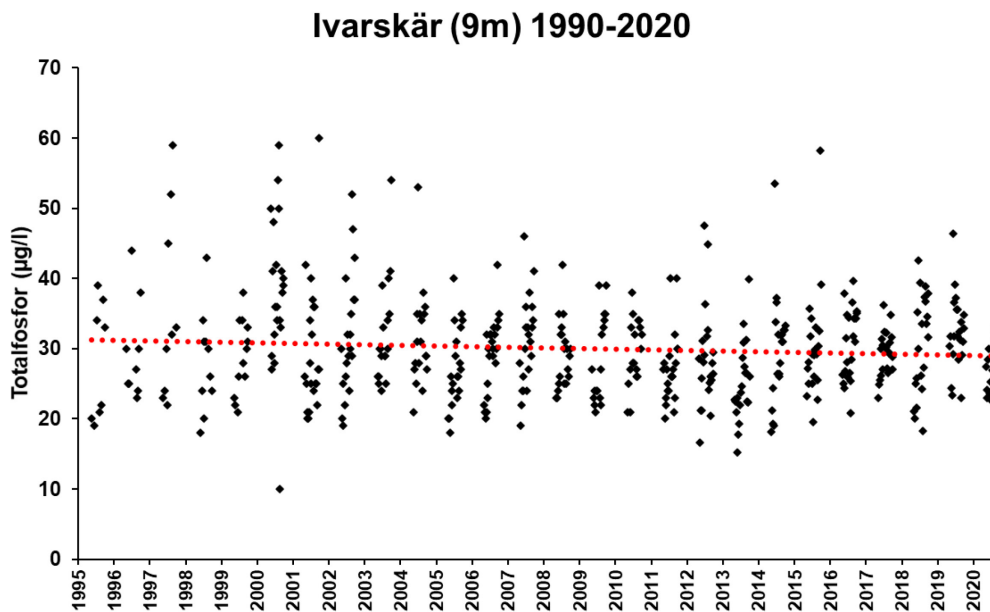
Husövik (1m) 1990-2020



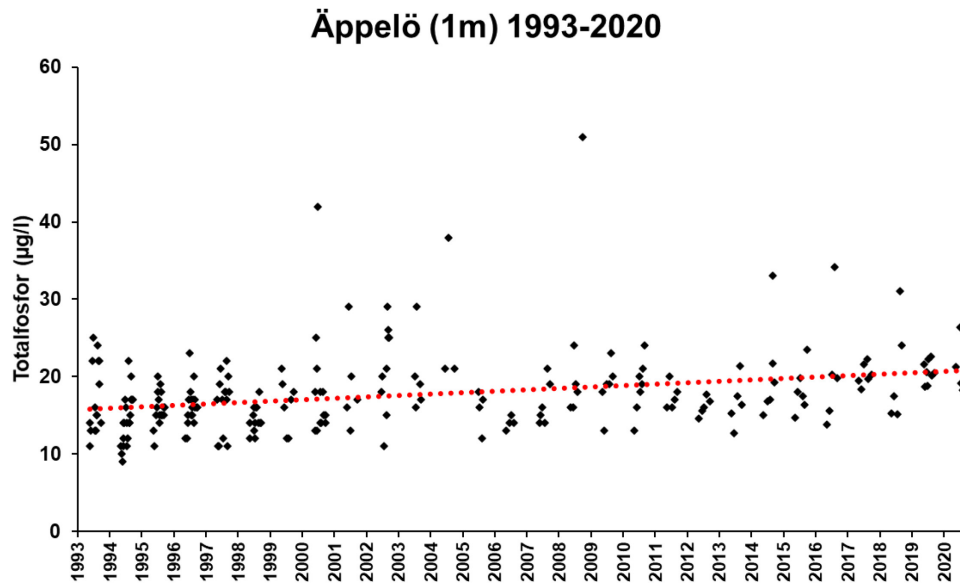
Figur 19. Sommarhalvårets (maj-september) totalfosforhalter i Husövik åren 1990–2020. Den streckade linjen = linjär trendlinje.



Figur 20. Sommarhalvårets (maj-september) totalfosforhalter i Ivarskär åren 1995–2020 på 1 meters djup. Den streckade linjen = linjär trendlinje.



Figur 21. Sommarhalvårets (maj-september) totalfosforhalter i Ivarskär åren 1995–2020 i bottenvatten (9m). Den streckade linjen = linjär trendlinje.

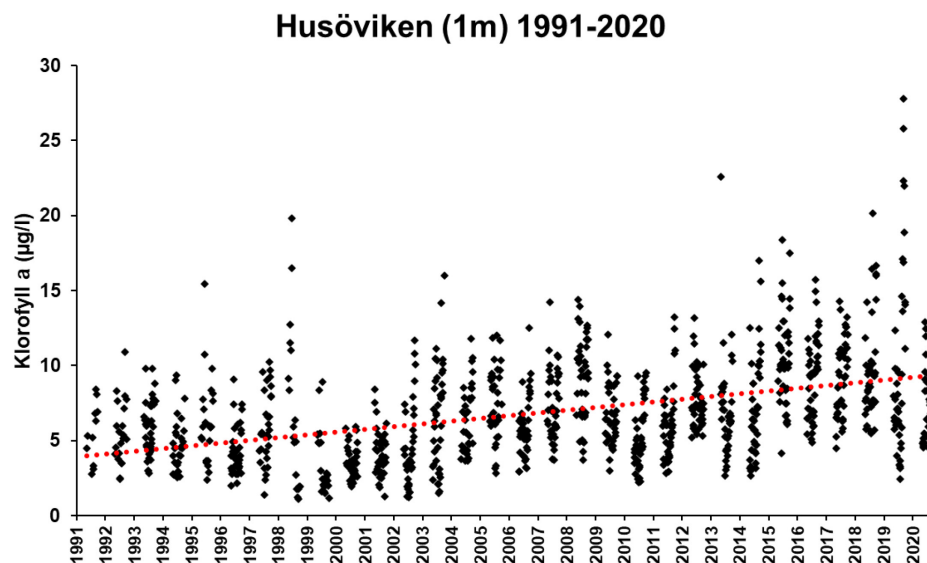


Figur 22. Sommarhalvårets (maj-september) totalfosforhalter vid Äppelö åren 1993–2020. Den streckade linjen = linjär trendlinje.

6 Klorofyll-a

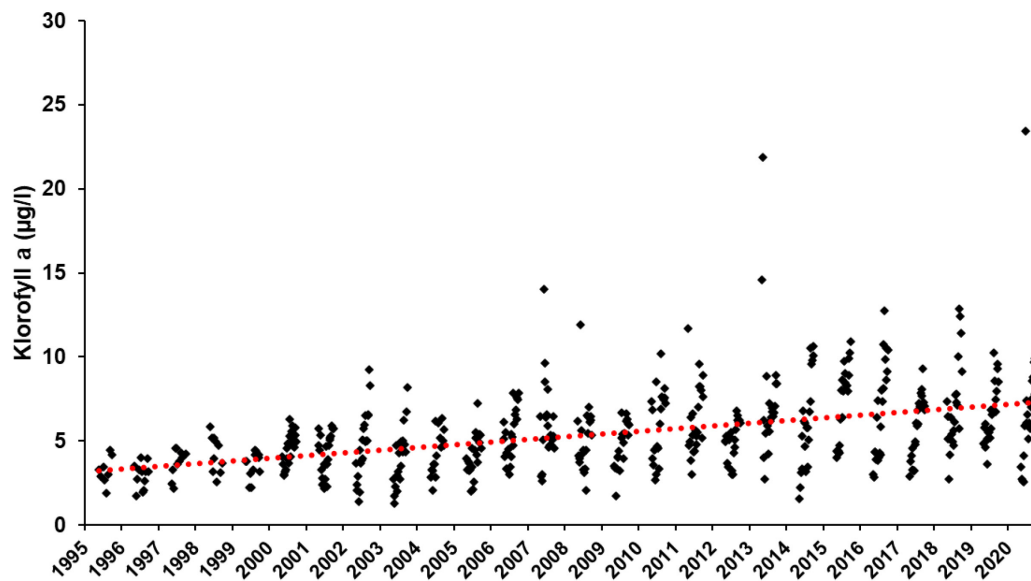
Växtplankton innehåller ett flertal olika färgpigment. Gemensamt för alla växtplankton är att de innehåller pigmentet klorofyll-a. Därför används klorofyll-a ofta som ett mått på mängden växtplankton i våra vatten. Det är dock värt att notera att olika växtplankton har olika mängder klorofyll-a varvid mängden klorofyll-a ger ett grovt mått på hur mycket växtplankton det finns i vattnet (WALLIN et al. 1992). Klorofyllvärdet kan även variera mycket i tid och rum varvid långtidsserier med upprepade provtagningar behövs för att trender skall kunna urskiljas. En hög koncentration av klorofyll-a är dock en indikation på eutrofiering (HELCOM 2009).

På Husö biologiska stations tre vattenprovtagningspunkter kan man se att mängden klorofyll-a uppvisar en stigande trend i ytvattnet på samtliga provtagningsstationer (fig. 23–25). Notera att den hittills högsta uppmätta klorofyll a-halten i Husövikens saknas i figur 19 nedan. Fredagen 3.5.2013 uppmättes en klorofyll a-halt i Husövikens (1m) på hela 62,95 µg/l.



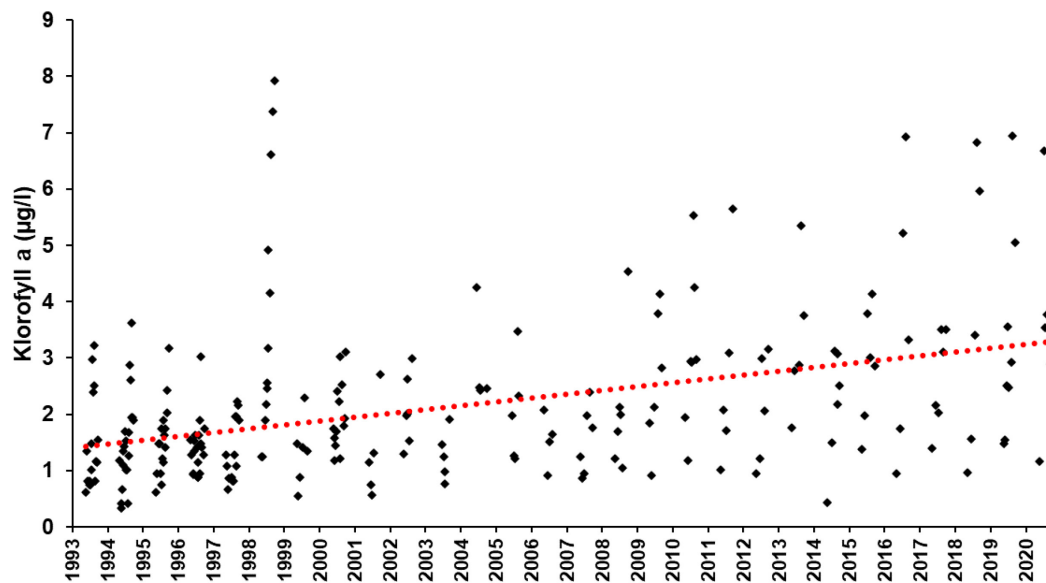
Figur 23. Sommarhalvårets (maj-september) klorofyll a-halter i Husövikens åren 1991–2020. Den streckade linjen = linjär trendlinje.

Ivarskär (1m) 1995-2020



Figur 24. Sommarhalvårets (maj-september) klorofyll a-halter i Ivarskär åren 1995–2020. Den streckade linjen = linjär trendlinje.

Äppelö (1m) 1995-2020



Figur 25. Sommarhalvårets (maj-september) klorofyll a-halter vid Äppelö åren 1993–2020. Den streckade linjen = linjär trendlinje.

7 Syrehalt i bottenvatten

För bottenlevande djur är syrehalten vid botten väldigt viktig. Om syrehalten blir för låg flyr fiskar medan bottendjur som lever på botten börjar dö ifall de inte klarar av att förflytta sig till områden där det finns syre. Syrekoncentrationer ner till 4,5 ml/l i vatten anses ha inga negativa effekter på makroskopiska organismer. När syrehalten sjunker under 4,5 ml/l ökar stressnivån hos de flesta organismerna (ANDERSSON 2014). Ofta används en syrekoncentration på 2 ml/l i vatten som ett gränsvärde på akut

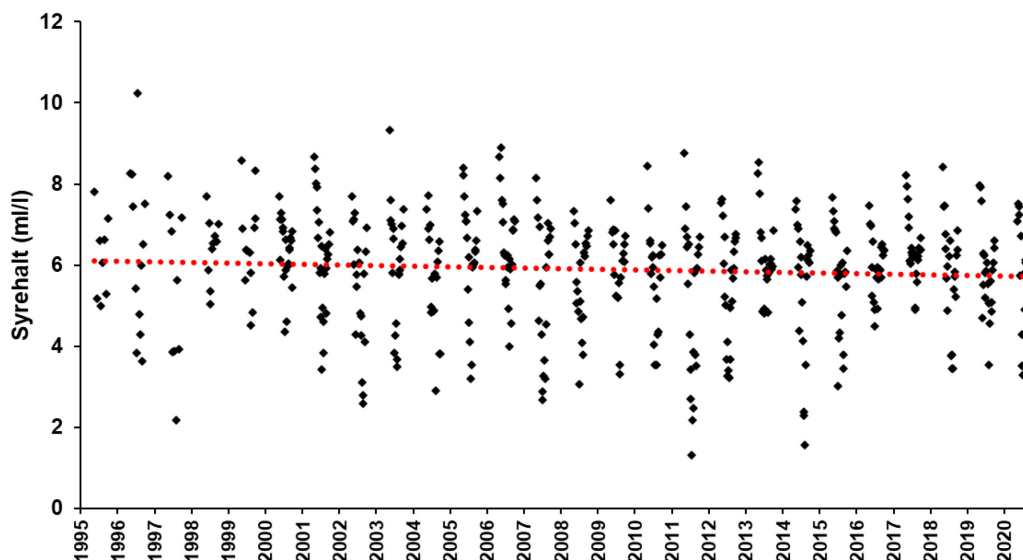
syrebrist (hypoxi) (HANSSON & ANDERSSON 2013). När syrekoncentrationen sjunker under 1 ml/l övergår bakterier till anaeroba processer vilket leder till svavelväteproduktion. Svavelväte är mycket giftigt för alla högre marina livsformer (ANDERSSON 2014, HANSSON et al. 2019). I syrefria (anoxiska) förhållanden frigörs bl.a. fosfat från bottensedimenten till vattenkolumnen. Tack vare vertikal omblandning i vattenkolumnen kan det frigjorda fosfatet nå ytvattnet och öka växtplanktonproduktionen. Speciellt cyanobakterier gynnas av detta (HANSSON & ANDERSSON 2014).

Under en lång tid trodde man att syrebrist var ett problem som i huvudsak drabbade bottarna i de öppna och djupa delarna av Östersjön. På senare tid har man konstaterat att så är fallet inte. Det förekommer även syrebrist i våra kustområden, även på Åland:

http://www.regeringen.ax/sites/www.regeringen.ax/files/attachments/page/syre_i_bottenvatten_2000-2014.pdf

I Ivarskärs bottenvatten kan man se en sjunkande trend vad gäller syrehalt i bottenvattnet sedan medlet av 1990-talet. Sommaren 2011 uppmättes hittills den lägsta syrehalten (1,3 ml/l), en syrehalt som understiger gränsen för akut syrebrist på 2 ml löst syre per liter vatten (fig. 26). Under de senaste åren har dock syreförhållandena i Ivarskärs bottenvatten förbättrats. Sommaren 2017 var syreförhållandena goda hela sommaren då den lägsta uppmätta syrehalten bestämdes till 4,95 ml/l 4:e augusti.

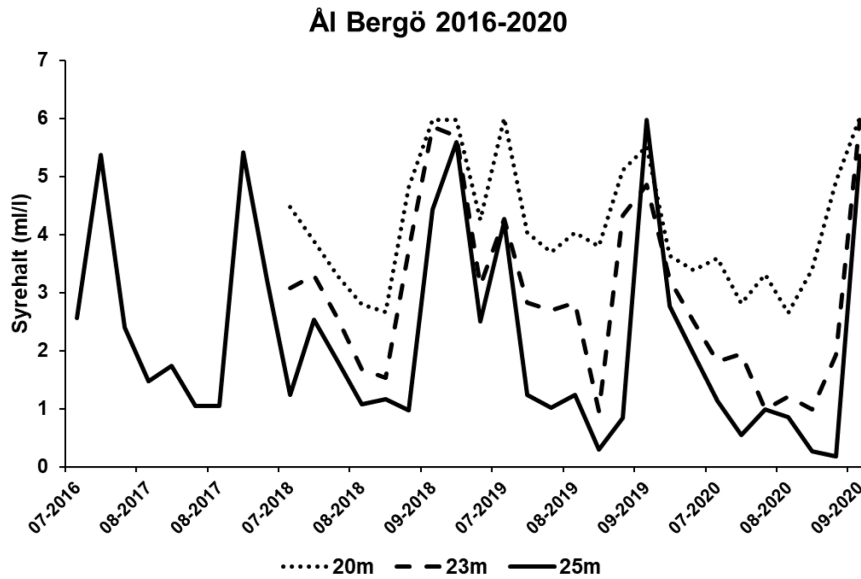
Ivarskär (9m, bottenvatten) 1995-2020



Figur 26. Syrehalten i Ivarskärs bottenvatten åren 1995–2020. Den streckade linjen = linjär trendlinje.

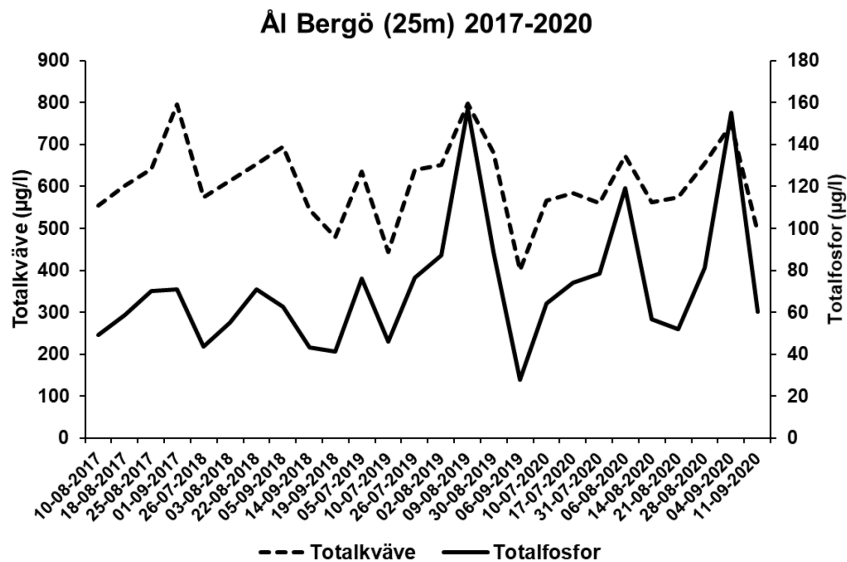
8 Ål Bergö

Syresituationen i bottenvattnet vid Ål Bergö är tidvis mycket dåligt. Under mätningar sedan 2016 har det observerat så låga syrekoncentrationer som 0,18 ml/l (25m, 4.9.2020). Även på 23m djup har det tidvis varit mycket låga syrekoncentrationer, som sämst 0,97 ml/l (9.8.2019). På 20 meters djup har det varit bättre ställt och någon akut hypoxi har inte observerats sedan 2016. Under sommaren 2020 noterades de hittills sämsta syreförhållandena på Ål Bergö. Vid 25m noterades hypoxi under tiden 17.7-4.9.2020. Läget vid 23m var inte mycket bättre och hypoxiska förhållanden konstaterades mellan 31.7-4.9.2020. Höstomblandningen 2020 medförde, likt tidigare år, att vattenkolumnen effektivt blandades om. Något som samtidigt förbättrade syresituationen avsevärt (fig. 27).



Figur 27. Syrehalter under sensommar (juli-september) på 20m, 23m och 25m på Ål Bergö under 2016–2020.

Näsaltshalterna i bottenvattnet på Ål Bergö (25m) är förhöjda. Speciellt totalfosforhalterna är tidvis mycket höga (fig. 28). Vid två tillfällen har totalfosfor halterna överstigit 150 $\mu\text{g/l}$ (157 $\mu\text{g/l}$, 9.8.2019 och 155 $\mu\text{g/l}$, 4.9.2020). Vid ovannämnda tillfällen var syrekoncentrationen samtidigt mycket låg, under 0,5 ml/l. Normalvärden för totalfosfor i närområdet under de senaste åren har legat runt 30 $\mu\text{g/l}$ (se fig. 20–21). Mätresultaten indikerar att det tidvis sker en urlakning av speciellt fosfor från botten sedimentet till vattenkolumnen vid Ål Bergö, vilket innebär att det sker s.k. intern belastning vid denna provtagningsstation.



Figur 28. Totalkväve och totalfosforhalter i bottenvattnet (25m) vid Ål Bergö 2017–2020.

9 Sammanfattning

- Den generella trenden i mätresultaten som beskriver övergödning (siktdjup, närsalter och klorofyll a) stöder det som rapporterats på annat håll på Åland (ÅLR 2019) och i övriga delar av Östersjön (MURRAY et al. 2019). Under senare år verkar närsaltshalterna stabiliserat sig på en relativt jämn nivå. Huruvida denna trend håller i sig återstår att se.
- Ytvattentemperaturerna visar en stigande trend, något som stämmer väl överens med det som rapporterats både lokalt och globalt i och med klimatförändringen. Mätresultaten visar även på att extremförhållandena har blivit allt extremare och att de mest extrema åren vad gäller temperatur har ägt rum under de senaste 10 åren.
- De konstaterade marina värmeböljornas styrka, varaktighet och frekvens är i praktiken sannolikt extremare än det som rapporteras här. Detta eftersom det endast var möjligt att använda temperaturmätningar sedan 2005; en tidsperiod som både lokalt och internationellt har påvisats vara en tidsperiod som varit signifikant varmare än tidigare decennier.
- Bottenvattnet vid Ål Bergö lider av säsonsberoende syrefria förhållanden under somrarna och upphör när höstomblandningen kommer i gång. Sommaren 2020 rådde hypoxiska förhållanden i bottenvattnet redan vid medlet av juli fram till höstomblandningen i början av september.
- De dåliga syreförhållandena vid Ål Bergö bidrar till s.k. intern belastning, där näringsämnen börjar urlakas från botten vid syrefria förhållanden. Något som ytterligare bidrar till övergödningens problematiken i kustvattnen.

10 Källor

ANDERSSON, L.S., 2014. Hydrography and Oxygen in the Deep Basins. HELCOM Baltic Sea Environment Fact Sheets. URL: <https://helcom.fi/baltic-sea-trends/environment-fact-sheets/>, besökt 30.3.2021.

BALTIC SEA 2020, 2017. Östersjöns utmaningar. Östersjön – ett unikt havsområde. URL: <http://balticsea2020.org/oestersjoens-utmaningar>, besökt 30.3.2021.

BELKIN, I.M., 2009. Rapid warming of Large Marine Ecosystems. Prog. In Oceanogr. 81:207–213.

CEDERBERG, T., BJÖRKHOLM, C. & B. WEIGEL, 2015. Bottenfaunan i Ålands skärgård 2013. Forskn. rapp. från Husö biol. stat. No 140, 32 s.

DANIELSSON, Å. & P. RAHM, 2008. Alterations in nutrient limitations – Scenarios of a changing Baltic Sea. J. Mar. Syst. 73: 263-283.

DODDS, W. K. & M. R. WHILES, 2010. Freshwater Ecology: Concepts and Environmental Applications of Limnology. Academic Press, 829 s.

HANSSON, M., VIKTOROSSON, L. & L. ANDERSSON, 2019. Oxygen Survey in the Baltic Sea 2019 – Extent of anoxia and hypoxia, 1960 – 2019. Report Oceanography No. 67, 2019. URL: https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.158362!/RO_67.pdf, besökt 30.3.2021.

HELCOM, 2007 Climate Change in the Baltic Sea Area – HELCOM Thematic Assessment in 2007. Balt. Sea Environ. Proc. No. 111, 66 s.

HELCOM, 2009 Eutrophication in the Baltic Sea – An integrated thematic assessment of the effects of nutrient enrichment and eutrophication in the Baltic Sea region. Balt. Sea Environ. Proc. No. 115B, 121 s.

HELCOM, 2013 Climate change in the Baltic Sea Area: HELCOM thematic assessment in 2013. Balt. Sea Environ. Proc. No. 137, 66 s.

HELMUTH, B., RUSSEL, B.D., CONNEL, S.D., DONG, Y., HARLEY, C. DG., LIMA, F.P., SARÁ, G., WILLIAMS, G.A. & N. MIESZKOWSKA, 2014. Beyond long-term averages: making biological sense of a rapidly changing world. *Clim Chang Responses*. 1: 6.

HOBDAJ, A.J., ALEXANDER, I., PERKINS, S.E., SMALE, D.A., STRAUB, S.C., OLIVER, E.C.J., BENTHUYSEN, J.A., BURROWS, M.T., DONAT, M.G., FENG, M., HOLBROOK, N.J., MOORE, P.J., SCANNELL, H.A., GUPTA, A.S. & T. WERNBERG, 2016. A hierarchical approach to defining marine heatwaves. *Prog. Oceanogr.* 141:227-238.

MACKENZIE, B. & D. SCHIEDEK, 2007. Daily ocean monitoring since the 1860s shows record warming of northern European seas. *ICES C.M. B:02*, 32.

MEIER, H.E.M. & S. SARAIVA, 2020. Projected oceanographical changes in the Baltic Sea until 2100. I: *Oxford Research Encyclopedia, Climate Science*. Oxford: Oxford University Press.

MOHRHOLZ, V. NAUMANN, M., NAUSCH, G., KRÜGER, S. & U. GRÄVE, 2015 oxygen for the Baltic Sea—An exceptional saline inflow after a decade of stagnation. *J. Mar. Syst.* 148:152–166.

MURRAY, C.J., MÜLLER-KARULIS, B., CARSTEN, J., CONLEY, D.J., GUSTAFSON, B.G. & J.H. ANDERSEN, 2019. Past, Present and Future Eutrophication Status of the Baltic Sea. *Front. Mar. Sci.* Vol 6.

NATURVÅRDSVERKET, 2007. Status, potential och kvalitetskrav för sjöar, vattendrag, kustvatten och vatten i övergångszon. En handbok om hur kvalitetskrav i ytvattenförekomster kan bestämmas och följas upp. Handbok 2007:4.

NIXON, S.W., AMMERMAN, J.W., ATKINSON, L.P., BEROUNSKY, V.M., BILLEN, G., BOICOURT, W.C., BOYNTON, W.R., CHURCH, T.M., ELMGREN, R., GARBER, J.H., GIBLIN, A.E., JAHNKE, R.A., OWENS, N.J.P., PILSON, M.E.W.Q. & S.P., SEITZINGER, 1996. The fate of nitrogen and phosphorus at the land – sea margin of the North Atlantic Ocean. *Biochem.* 35: 141–180.

NYGÅRD, H. 2007. Bottenfaunan och hydrografin i den åländska ytterskärgården sommaren 2006. *Forskn. rapp. från Husö biol. stat.* No 117, 23 s.

OLIVER, E.C.J., 2019. Mean warming not variability drives marine heatwave trends. *Clim. Dyn.* 53: 1653-1659.

REDFIELD, A.C., 1958. The biological control of chemical factors in the environment. *Am. Sci.* 46: 205-221.

RHEIN, M., S.R. RINTOUL, S. AOKI, E. CAMPOS, D. CHAMBERS, R.A. FEELY, S. GULEV, G.C. JOHNSON, S.A. JOSEY, A. KOSTIANOY, C. MAURITZEN, D. ROEMMICH, L.D. TALLEY and F. WANG, 2013: Observations: Ocean. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [STOCKER, T.F., D. QIN, G.-K. PLATTNER, M. TIGNOR, S.K. ALLEN, J. BOSCHUNG, A. NAUELS, Y. XIA, V. BEX and P.M. MIDGLEY (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

SCHLEGEL, R.W. & A.J. SMIT, 2018. "heatwaveR: A central algorithm for the detection of heatwaves and cold-spells. *J. Open Source Softw.* 3:821.

SCHINDLER, D.W., 1974. Eutrophication and recovery in experimental lakes: implications for lake management. *Science.* 184: 897–899.

SMHI. 2017. Övergödning av havet. URL:

<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/oceanografi/overgodning-av-havet-1.6006>, besökt 30.3.2021.

SYKE, 2021. Arandas övervakningsresa: Ställvis rekordhöga temperaturer i Östersjön – fosforhalterna ökar i Skärgårdshavet och Bottenhavet. URL: [https://www.ymparisto.fi/sv-FI/Hav/Arandas_overvakningsresa_Stallvis_rekord\(59964\)](https://www.ymparisto.fi/sv-FI/Hav/Arandas_overvakningsresa_Stallvis_rekord(59964)), besökt 30.3.2021

VASSEUR, D.A., DeLONG, J.P. GILBERT, B., GREIG, H.S., HARLEY, C.D.G., McCANN, K.S., SAVAGE, V., TUNNEY, T.D. & M.I. O'CONNOR, 2014. Increased temperature variation poses a greater risk to species than climate warming. *Proc. R. Soc. B.* 281: 20132612.

WALLIN, M., HÅKANSON, L. & J. PERSON. 1992. Belastningsmodeller för närsaltsutsläpp i kustvatten. *Nordiske Seminar- og Arbejdsrapporter 1992:502.* 196 s.

WERNBERG, T., SMALE, D.A., TUYA, F., THOMSEN, LANGLOIS, T.J., de BETTIGNIES, T., BENNET, S. & C.S., ROUSSEAUX, 2013. An extreme climatic event alters marine ecosystem structure in a global biodiversity hotspot. *Nature Clim. Change.* 3: 78–82.

ÅLANDS LANDSKAPSREGERING (ÅLR), 2019. Ytvattenstatus på Åland 2012–2018. 22 s.

ÖSTERSJÖN.FI 2021. Siktdjupet. URL: https://www.ostersjon.fi/sv-FI/Ostersjon_nu/Vattenkvalitet/Siktdjup, besökt 30.3.2021

ÖSTMAN, M. & E. M. BLOMQVIST, 1997. Tillståndet i åländska skärgårdsvatten – förslag till kvalitetsparametrar för den åländska vattenlagen. *Forskn. rapp. från Husö biol. stat.* No 95, 46 s.