



Växtplankton och deras miljö i Västra Götalands kustvatten 1986–2021



Länsstyrelsen
Västra Götaland

Titel: Växtplankton och deras miljö i Västra Götalands kustvatten 1986–2021
Författare: Bengt Karlson, Markus Lindh och Ann-Turi Skjevik SMHI
Uppdragsgivare: Länsstyrelsen Västra Götaland, Vattenavdelningen
Rapportansvarig: Carina Erlandsson och Katrina Envall
Utgivare: Länsstyrelsen Västra Götaland
Foto framsida: Några växtplankton från norra Kattegatt. På bilden visas dinoflagellater:
Tripos furca, Tripos muelleri, Dinophysis sp. samt Prorocentrum sp. Foto med
elektronmikroskop: Bengt Karlson
Rapport: 2023:50
ISSN: 1403-168X
Mer information hittar du på: lansstyrelsen.se/vastragotaland/

Förord

SMHI har på uppdrag av Länsstyrelsen för Västra Götaland genomfört en utvärdering av marina växtplanktondata och omvärldsp parametrar som påverkar växtplankton. Rapporten gäller prover insamlade inom miljöövervakningen längs Västra Götalands kust (Bohuskusten och Göteborgs skärgård) under åren 1986–2021. Prover från centrala Skagerrak har tagits med som jämförelsematerial. Uppdraget genomfördes av Bengt Karlson, Markus Lindh och Ann-Turi Skjevik. Förslag och synpunkter som framförs i rapporten kommer från författarna.

Sammanfattning

Växtplanktondata från provtagningar under perioden 1986–2021 längs Västra Götalands kust (Bohuskusten och Göteborgs skärgård) har analyserats. Fokus har varit åtta stationer som har tidsserier från 1991–2021 med provtagningar året om. Data från andra stationer har också använts. När det gäller klorofyll samt fysiska och kemiska parametrar finns ett större datamaterial med provtagningar på 14 stationer. En station i centrala Skagerrak har använts för jämförelser. Resultat från mikroskopanalys av prover visar på en relativt hög biodiversitet. Antal identifierade släkten är 195 och antalet arter är stort. Högst antal arter observeras under hösten, troligen som en effekt av transport av vatten från Nordsjön till Bohuskusten. Under den undersökta perioden har antal observerade släkten ökat. Om detta beror på en verklig ökning av biodiversiteten, t.ex. att arter som trivs i hög temperatur kommit till eller på andra faktorer, t.ex. att skickligheten hos de som analyserar prover ökat, går inte att utläsa från materialet. Strukturen på växtplanktonsamhället varierar under året och geografiskt. Havstensfjorden har en högre andel dinoflagellater jämfört med de flesta andra stationer. Flera arter som är nya för området har observerats, bl.a. *Alexandrium pseudogonyaulax*, *Chaetoceros cf. peruvianus*, *Pseudosolenia calcar-avis* och *Dinophysis tripos*. Växtplanktonbiomassan mätt som klorofyll a (0–10 m djup) har minskat i Koljöfjord, Havstensfjord, Byfjorden och vid Galterö (Stenungsund) under perioden 1991–2021 när man tittar på årsmedelvärden. Det gäller även om enbart värden från sommaren används. Då noteras även en minskning vid Stretudden (Brofjorden), vid Valö (Askimsfjorden) och station Å17 (öppna Skagerrak). Siktdjupet har ökat på flera platser sommartid: vid Byttelocket (Smögen), Stretudden (Brofjorden), Släggö (Gullmarsfjorden) och i Koljöfjorden. Koncentrationer under vintern av löst oorganiskt kväve (DIN = summan av nitrat, nitrit och ammonium) har minskat i ytvattnet på de flesta lokaler medan fosfathalter är i stort sett oförändrade. Kiselhalter vintertid har ökat på stationer som ligger i närheten av Göta Älvs/Nordre Älvs mynning eller andra floder eller åar. Författarna finner det troligt att åtgärder för att minska tillförsel av näringsämnen från land till hav har haft effekt. Minskad kvävebelastning har sannolikt resulterat i lägre växtplanktonbiomassa och större siktdjup vid kusten, bl.a. innanför Orust och Tjörn. Andra orsaker till förändringarna kan dock inte uteslutas.

Årsmedelvärden för ytvattentemperatur (0–10 m) har ökat med upp till 2 grader 1991–2021, sommartid har ytvattentemperaturen ökat med 1–2°C. Salthalt i ytvattnet är oförändrad under den undersökta perioden. Skadliga alger förekommer varje år. År 2017 var det en större blomning av *Pseudochattonella* som orsakar fiskdöd. Alggifter som ansamlas i musslor och ostron utgör en risk för människors hälsa och ett problem för havsbruket. Kontrollprogram som administreras av Livsmedelsverket har säkerställt att produkter som innehåller alggifter inte kommit ut på marknaden. Det vanligaste problemet är dinoflagellater från släktet *Dinophysis* som producerar diarrégifter. Arter från släktet *Alexandrium* förekommer också, där de flesta producerar paralyserande skaldjursgifter. År 2017 uppmättes höga halter i musslor och skörd stoppades. Flera andra släkten av skadliga alger observeras regelbundet, t.ex. kiselalgen *Pseudo-nitzschia* som producerar ett alggift som kan orsaka minnesförlust. Kammaneten *Mnemiopsis leidyi* har etablerat sig i området sedan år 2006. Ursprunget är troligen Nordamerikas östra kust. Arten livnär sig på mindre plankton och är

vanlig sommartid. Den har sannolikt påverkat strukturen på växtplankton-samhället.

Författarna föreslår ett utökat samarbete mellan myndigheter som ansvarar för växtplanktonövervakningen för att förbättra övervakningen och informationen till allmänheten och till havsbrukare. En anpassning till övervakning av effekter av klimatförändringar rekommenderas. Flera ändringar i nuvarande övervakningsprogram föreslås, bl.a. att pikoplanktonanalys permanentas och att en station med högfrekvent växtplanktonprovtagning etableras i Göteborgs södra skärgård. Placeringen är vald för att möjliggöra tidiga varningar för skadliga algbloomningar för vattenbruk längre norrut. Den Baltiska strömmen transporterar generellt sett vattnet norrut längs den svenska västkusten. Dessutom föreslås en ny station vid norra Bohuskusten mellan Smögen och Kosterfjorden där det är glest mellan provtagningspunkterna idag. Antalet stationer behöver dock balanseras mot provtagningsfrekvensen. Tät provtagning i tiden är på många sätt viktigare än provtagning vid många stationer, d.v.s. en stor geografisk spridning. Nya metoder bör övervägas, t.ex. automatisk växtplanktonanalys med avbildande flödescytometri (Imaging Flow Cytometry). Genetiska metoder (eDNA – metabarcoding) bör införas i övervakningen av biodiversitet och främmande arter. Dessutom föreslås övervakning av havets brunifiering genom att halter av Coloured Dissolved Organic Matter mäts.

Innehåll

Växtplankton och deras miljö i Västra Götalands kustvatten	7
1 Inledning och bakgrund	7
1.1 Syfte och avgränsningar	7
1.2 Om växtplankton och algblomningar	7
2 Svenska miljömål, Agenda 2030 och krav från EU direktiv	10
3 Om övervakningsprogram och metodik	14
3.1 Om metodik för växtplanktonundersökningar	14
3.2 Övervakningsprogram	16
3.3 Förändringar i övervakningsmetodik sedan senaste utvärderingen	18
4 Material och metoder	19
4.1 Provtagning och analys av prover	19
4.2 Källa till data	20
4.3 Analys av data och statistiska metoder	20
5 Resultat	22
5.1 Växtplanktonbiomassa – tidsserier	22
5.2 Växtplanktonbiomassa – årscykel	24
5.3 Om provtagningsfrekvens	27
5.4 Trendanalys av tidsserier för växtplankton	28
5.5 Bidrag från pikoplankton	32
5.6 Biomassa mätt som klorofyll	33
5.7 Siktdjup (Secchi djup)	38
5.8 Biodiversitet	41
5.9 Nyttillkomna arter	46
5.10 Förekomst av skadliga alger i området	48
5.11 Trender gällande fysiska och kemiska parametrar	54
4 En översikt av metoder för att utveckla växtplanktonövervakningen	60
4.1 eDNA-streckkodning och qPCR	60
4.2 Automatisk planktonanalys med AI-baserad bildanalys	60
4.3 Oceanografiska mätbojar	61
4.4 Ferrybox-system	63
4.4 Fjärranalys – ocean colour	63
5 Diskussion	64
5.1 Skiljer sig kustvattentyper åt och i så fall varför?	64
5.2 Långtidstrender	66
5.3 “Top down” eller “bottom up” kontroll?	67
6 Slutsatser och förslag	68
6.1 Slutsatser från utvärdering av utökad provtagning under senare år	68
6.2 Slutsatser av dataunderlagets användbarhet för klassningar inom vattenförvaltningen	69
6.3 Förslag till samordning mellan övervakningsprogram	69
6.4 Förslag på utveckling av växtplanktonövervakningen	70
6.5 Beredskap inför nästa stora skadliga algblomning	72
6.6 Effekter av klimatförändringar – förslag på övervakning av kustzonens brunifiering – humus/CDOM	72
7 Referenser	73
Bilaga 1. Tabell över stationer från vilka data använts	77
Bilaga 2 Fysiska och kemiska parametrar i ytvattnet	78

Växtplankton och deras miljö i Västra Götalands kustvatten

1 Inledning och bakgrund

1.1 Syfte och avgränsningar

SMHI utvärderade resultat från svensk växtplanktonövervakning i Skagerrak, Kattegatt, och Öresund senast år 2011 (Skjevik et al., 2011). Då ingick data fram till år 2010. I den nya utvärderingen ingår endast Västra Götalands kust, d.v.s. norra Kattegatt och Skagerrak. Syftet med rapporten är att beskriva nuvarande tillstånd vad gäller förekomst, diversitet och utbredning av växtplankton baserat på miljöövervakningsdata. Tidsserier används för att undersöka eventuella trender och nytillkomna eller försvunna arter. Införandet av observationer av riktigt små växtplankton; pikoplankton, i miljöövervakningen utvärderas. Variationen i växtplanktondata uppmätt med tre olika parametrar (celltäthet, biovolym och biomassa i kol) utvärderas och värdet av biovolym diskuteras. Diversitet analyseras genom att undersöka antalet arter, uträkning av Shannons diversitetsindex samt genom att utvärdera skillnader i växtplanktonsamhällen mellan olika stationer och vilka miljöfaktorer som styr variationen mellan dessa samhällen. Dessutom används högfrekvent provtagning under år 2021 (45 prover insamlade vid station Släggö, vid Gullmarsfjordens mynning) för att undersöka om den vanliga provtagningsfrekvensen (oftast en gång per månad) räcker till för att beskriva naturlig variation. I rapporten föreslås också utveckling och effektivisering av växtplanktonövervakningen i området, bl.a. föreslås införandet av nya metoder och bättre samordning av övervakning av skadliga alger.

I rapporten beskrivs svenska miljömål, FN Agenda 2030 och EU-direktiv som innefattar växtplankton men någon utvärdering av miljöstatus eller ekologisk status ingår inte i rapporten.

1.2 Om växtplankton och algblomningar

Växtplankton är havets viktigaste primärproducenter. De rör sig fritt i vattnet och utnyttjar solen som energikälla. Globalt så står växtplankton för ca 50 % av den totala syreproduktionen på jorden (Field et al., 1998). Det innebär också att växtplankton förbrukar koldioxid i motsvarande mängd. Även mer lokalt längs Västra Götalands kust är växtplankton med stor sannolikhet de dominerande primärproducenterna. Bottenlevande mikroalger och makroalger (t.ex. tång) samt ålgräs står antagligen för en betydligt mindre andel av primärproduktionen. Författarna av denna rapport känner dock inte till några detaljerade studier av detta. Växtplankton utgör föda åt djurplankton och åt många djur i havet som fångar sin föda genom att filtrera vattnet, t.ex. musslor och ostron. Djurplankton och filtrerarna utgör en länk till högre trofinivåer i havets näringsväv. Utan växtplankton skulle balansen mellan trofinivåer brytas och ekosystemet skulle kollapsa. Den biogeokemiska kolcykeln och trofinivåerna i det marina ekosystemet illustreras i Fig. 1. I Fig. 2-5 illustreras några olika växtplankton med fotografier.

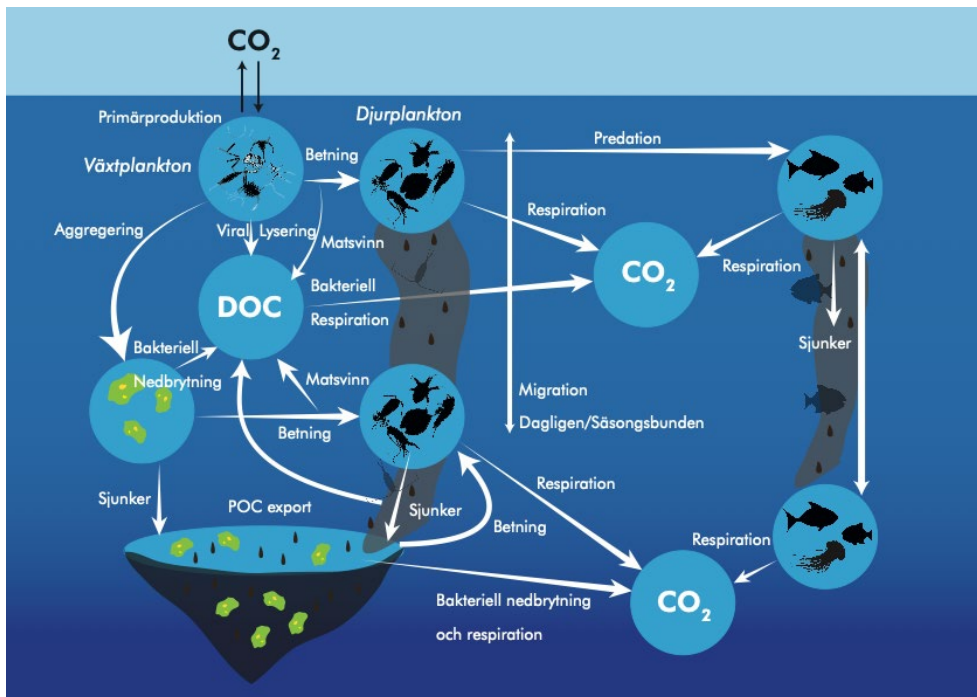


Fig. 1. Illustration av den biogeokemiska kolcykeln och trofnivåerna i det marina ekosystemet. Havets primärproducenter, växtplankton, fixerar kol genom fotosyntes. Denna biomassa konsumeras sedan av betande djurplankton, som befinner sig på en högre trofnivå. Dessa djurplankton blir sedan byten åt predatorer, såsom fiskar och geléplankton, som utgör den högsta trofnivån. När dessa organismer betar och konsumerar, överförs kol från lägre till högre trofnivåer. Samtidigt kan matsvinn (sloppy feeding) leda till nedbrytning av organiskt material, vilket återigen frigör kol i ekosystemet. Denna interaktion mellan olika trofnivåer bidrar till att reglera kolcykeln och påverkar havets övergripande biogeokemiska processer. Löst och partikulärt organiskt kol skrivs ut enligt DOC, respektive POC.

Ibland tillväxer växtplankton snabbare än djurplankton hinner med att äta dem. Det brukar resultera i en algbloomning. Växtplankton kan tillväxa fort, de delar sig ofta ca en gång per dygn vid gynnsamma förhållanden, det kan resultera i att cellantal och biomassa ökar exponentiellt. Efter en eller ett par veckor kan vattnet färgas brunt eller grönt av en algbloomning. De flesta algbloomningar är helt ofarliga, exempelvis vårbloomningen som oftast startar i februari eller mars längs Västra Götalands kust. Då är det ont om djurplankton i vattnet och när bloomningen slutar, oftast på grund av brist på näringsämnen, sjunker växtplanktonen till botten där de utgör föda åt bottenlevande djur. Senare under året är ofta primärproduktionen lika hög, eller högre, men eftersom djurplankton betar på växtplankton, bildas inga höga biomassor av de senare. Det finns data på primärproduktion mätt under en längre tid vid Gullmarsfjordens mynning (Tiselius et al., 2016). Dessa mätningar visar att primärproduktionen är högst under sommaren. Biomassa av växtplankton och produktion av växtplankton har svag korrelation.

Algbloomningar kan ställa till problem. Om näringstillförseln är hög så bildar algbloomningar en stor biomassa som när den sjunker till botten, och bryts ned

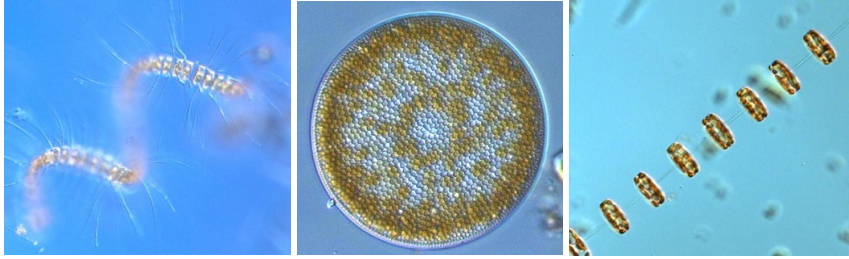


Fig. 2. Exempel på kiselalger (Bacillariophyceae). Till vänster: *Chaetoceros debilis*, i mitten *Coscinodiscus radiatus* och till höger: *Thalassiosira gravida*. Foto: Ann-Turi Skjevik. Bilderna har inte samma skala.

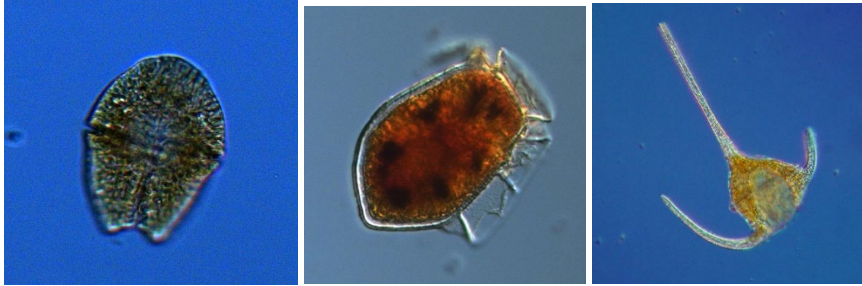


Fig. 3. Exempel på dinoflagellater (Dinophyceae). Till vänster: *Akashiwo sanguinea*, i mitten *Dinophysis acuta*, foto: Ann-Turi Skjevik. Till höger: *Tripos muelleri*, foto: Bengt Karlson. Bilderna har inte samma skala.

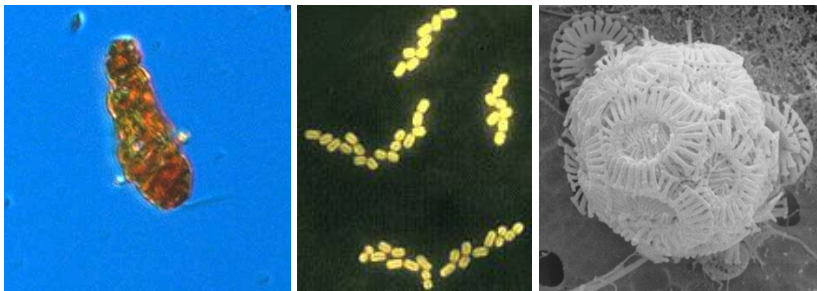


Fig. 4. Några andra växtplankton som förekommer vid Västra Götalands kust. Till vänster: *Pseudochattonella* sp., foto: Ann-Turi Skjevik, i mitten: cf. *Synechococcus* sp., foto: Mats Kuylenstierna, till höger: *Emiliana huxleyi*, foto med elektronmikroskop: Bengt Karlson. Bilderna har inte samma skala.

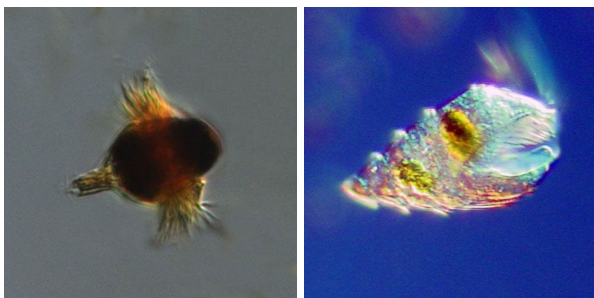


Fig. 5. Några mikrozooplankton som är vanliga längs Västra Götalands kust har kloroplaster som stulits från växtplankton. De kan både använda solljuset som energikälla och äta andra organismer; de är mixotrofer. Till vänster: *Mesodinium rubrum* och till höger *Laboea strobila*, foto: Ann-Turi Skjevik. Bilderna har inte samma skala.

av bakterier, orsakar syrebrist i områden med begränsat vattenutbyte nära botten. Detta är vanligt förekommande i Bohuslåns fjordar och en effekt av övergödning. Det är värt att notera att det är en kombination av den

sammanlagda tillförseln av organiskt material, t.ex. växtplankton, och av vattenutbytet som kan resultera i syrebrist.

Vissa växtplankton orsakar andra problem, de brukar kallas skadliga alger och orsakar skadliga algblomningar (Harmful Algal Blooms). Det förekommer flera olika typer av skadliga alger i Västra Götalands kustvatten (Karlson et al., 2021). Vissa arter av växtplankton orsakar fiskdöd. Gälarna på fiskarna förstörs av algerna. Några växtplanktonarter skadar fiskars gälar kemiskt eller mekaniskt genom produktion av geléartade ämnen. Andra växtplankton har vassa utskott som kan skada fiskgälar. Det är främst odlad fisk som påverkas av skadliga alger. Vild fisk kan oftast fly algblomningen genom att simma iväg. Men det finns exempel på att vild fisk dött i Skagerrak på grund av skadliga alger, bl.a. under blomningen av *Prymnesium polylepis* (tidigare *Chrysochromulina polylepis*) år 1988 och under en blomning av *Pseudochattonella* år 1998 (Karlson et al., 2021). Vissa växtplankton producerar alggifter (algtoxiner) som kan ansamlas i bl.a. musslor och ostron. Ibland används begreppet ”marina biotoxiner” som bl.a. innefattar alggifter. Gifterna utgör en risk för människors hälsa och förgiftningar kan ge allvarliga skador. Dödsfall har rapporterats från andra länder. I Sverige ansvarar Livsmedelverket för övervakning av alggifter i musslor och ostron samt för övervakning av de växtplankton som producerar gifterna (Persson et al., 2020). SMHI utför analyserna av toxinbildande alger i växtplanktonprover som samlas in en gång i veckan i närheten av platser där musslor och/eller ostron skördas. Livsmedelverket informerar musselodlare, allmänheten m.fl. om läget varje vecka på sin [webbplats](#). [Informationscentralen för Västerhavet](#), som ligger under Länsstyrelsen för Västra Götaland, informerar också allmänheten. Man sammanställer bl.a. veckorapporter baserade på Livsmedelsverkets och SMHI:s provtagning och datarapportering. Kommunikationen sker genom Informationscentralens webbsida och sociala medier.

2 Svenska miljömål, Agenda 2030 och krav från EU direktiv

[Svenska miljömål](#) är beslutade av Sveriges Riksdag. Det är framförallt miljökvalitetsmålen 8 *Hav i balans och en levande kust och skärgård* samt mål 16 *Ett rikt växt och djurliv* som innefattar växtplankton och algblomningar. I mål 8 har man preciserat att *god ekologisk status* (Vattendirektivet) och *god miljöstatus* (Havsmiljödirektivet) ingår. För miljökvalitetsmålet *Ingen övergödning* är mängden och sammansättningen av växtplankton en viktig indikator på effekter av övergödning. Havs- och vattenmyndigheten har nyligen publicerat en fördjupad utvärdering av mål 8 (Havs- och vattenmyndigheten, 2022).

På global nivå har FN satt upp mål inom Agenda 2030. För växtplankton är mål 14 *Hav och marina resurser* mest relevant. Det innehåller delmål som framgår på [regeringens webbplats](#). Inom FN pågår mycket av arbetet med havsmiljön inom UNESCO-IOC. IOC står för Intergovernmental Oceanographic Commission. IOC driver bl.a. Global Ocean Observing System (GOOS) i vilket man har definierat [Essential Ocean Variables](#). En av dessa är Växtplanktons biomassa och diversitet (Phytoplankton biomass and diversity). FN:s medlemsländer bidrar med resultat från miljöövervakningsprogram och andra mätningar. IOC har en ”panel” gällande skadliga algblomningar: Intergovernmental Panel on Harmful Algal Blooms (IPHAB). En av produkterna från IPHAB är en referenslista över skadliga alger som uppdateras regelbundet: [IOC-UNESCO Taxonomic Reference List of Harmful Micro Algae](#).

Direktiv från EU som innehåller krav på övervakning av växtplankton eller enbart skadliga alger innefattar Vattendirektivet (European-Union, 2000), Havsmiljödirektivet (European-Union, 2008, 2010, 2017), Badvattenkvalitetsdirektivet (European-Union, 2006) och ett direktiv om Livsmedelshygien (European-Union, 2019). I Sverige har Havs- och vattenmyndigheten (HaV) myndighetsansvar för de tre första direktiven och har utfärdat föreskrifter (HVMFS 2012:18 och HVMFS 2019:25). Även badvattendirektivet har en svensk tolkning i form av Badvattensförordningen 2008:218 utfärdad av HaV. Livsmedelsverket har myndighetsansvar för livsmedelshygien i Sverige. I EU-förordningar nr 2017/625 och 2019/627 anges vad myndigheterna är skyldiga att utföra i den offentliga kontrollen av musslor, ostron, sjöpungrar m.m. i produktionsområdena. Den innehåller bl.a. regler om kontinuerlig övervakning av giftproducerande alger i havet. Mer information finns i en rapport från Livsmedelsverket (Persson et al., 2020).

Havsmiljödirektivets delar som omfattar växtplankton sammanfattas i tabell 1. Det är värt att notera att Havsmiljödirektivet och Vattendirektivet överlappar i kustzonen. Havsmiljödirektivet omfattar vattenområdet som startar vid land och sträcker sig till gränsen för Sveriges territorium. Vattendirektivet sträcker sig till en nautisk mil utanför en linje som begränsas av de yttersta skären utanför kusten. Författarna noterar att listan över skadliga alger i tabell 6 i HVMFS 2012:18 inte är förenlig med dagens kunskap om skadliga alger. Jämför t.ex. med IOC-UNESCO Taxonomic Reference List of harmful Microalgae.

Tabell 1. En sammanfattning av krav på övervakning av marina växtplankton från föreskrift HVMFS 2012:18 (senast uppdaterad 2019-01-01) Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter om vad som kännetecknar god miljöstatus samt miljö kvalitetsnormer med indikatorer för Nordsjön och Östersjön.

Deskriptor	Kriterium	Indikator(er)
1. Biologisk mångfald	D1C6 Tillståndet i pelagiska livsmiljöer, inklusive deras biotiska och abiotiska struktur och deras funktioner	1.6B Artsammansättning av växtplankton
2. Främmande arter	D2C1 Nya introduktioner av främmande arter minimeras eller minskas till noll	2.1A Introduktioner av nya främmande arter.
4. Marina näringsvävar	D4C1 Den trofiska gruppens mångfald	1.6B Artsammansättning av växtplankton
5. Övergödning	D5C2 Klorofyll <i>a</i> -halterna ligger inte på nivåer som tyder på negativa effekter av näringsberikning	5.2A Biomassa av växtplankton i kustvatten (klorofyll <i>a</i> och biovolym) 5.2B Klorofyll <i>a</i> -koncentration i utsjövatten
	D5C3 Antal, rumslig utbredning och varaktighet av skadliga algblomningstillfällen ligger inte på nivåer som tyder på negativa effekter av näringsberikning	5.3A Skadliga algblomningar i Östersjön 3B Förekomst av skadliga alger i Västerhavet

1) Utdrag ur HVMFS 2012:18

1.6B Artsammansättning av växtplankton

Förvaltningsområde: Nordsjön och Östersjön

Metod: Övervakning av växtplankton ska ske enligt Havs- och vattenmyndighetens undersökningstyp *Växtplankton* (2016). Bedömning inkluderar utvärdering av både biomassa och artsammansättning över tid vid svenska utsjöstationer under representativ sommarperiod. Trend över tid av biomassa i form av biovolym utvärderas med hjälp av General additiv models (GAM). Artsammansättning, som förekomst av arter eller artgrupper, utvärderas med hjälp av Non-metric multidimensional scaling (NMDS).

Bedömningsområde: Samtliga havsbassänger enligt *bilaga 1 Karta 2*. *Tröskelvärde:* Biomassa och artsammansättning ska utifrån en kvalitativ bedömning inte avsevärt avvika från förhållandena under referensperioden.

5.3B Förekomst av skadliga alger i Västerhavet

Förvaltningsområde: Nordsjön

Metod: Övervakning av växtplankton ska ske enligt Havs- och vattenmyndighetens undersökningstyp *Växtplankton (2016)*. Cellantal i proverna ska analyseras och bedömning ske enligt Ospars indikator genom jämförelse med tröskelvärden för nivåer av cellantal då respektive art bedöms kunna orsaka skada.

Bedömningsområde: Havsbasängerna Skagerrak och Kattegatt enligt *bilaga 1* Karta 2.

Tröskelvärde: När värdena inte överskrider de värden som anges i tabell 6.

Tabell 6. Tröskelvärden för cellantal av skadliga alger.

Planktonart/släkte	Tröskelvärde
Arter som ger obehag	
Phaeocystis spp. (koloniform)	> 10 ⁶ cell/l och >30 dagars varaktighet
Noctiluca scintillans	> 10 ⁴ cell/l och areell täckning > 5 km ²
Giftiga eller giftproducerande arter	
Chrysochromulina polylepis	> 10 ⁶ cell/l
Gymnodinium mikimotoi	> 10 ⁵ cell/l
Alexandrium spp.	> 10 ² cell/l
Dinophysis spp.	> 10 ² cell/l
Prorocentrum spp.	> 10 ⁴ cell/l

Vattendirektivet omfattar bedömning av ekologisk status. I tabell 2 sammanfattas de delar som behandlar växtplankton i den föreskrift som gäller i Sverige idag. Författarna av denna rapport noterar att föreskriften inte tycks uppfylla kraven i EU-direktivet från år 2000, där det specificeras att Biologiska faktorer för kustvatten inkluderar *Sammansättning, förekomst och biomassa hos fytoplankton*. I den svenska föreskriften saknas krav gällande artsammansättning (biodiversitet). För hög status enligt EU-direktivet gäller:

Artsammansättning av fytoplankton motsvarar helt eller nästan helt opåverkade förhållanden.

Den genomsnittliga förekomsten av fytoplankton stämmer helt överens med de typspecifika fysikalisk-kemiska förhållandena och förändrar inte väsentligt de typspecifika siktdjupsförhållandena.

Planktonblomning inträffar med den frekvens och intensitet som stämmer överens med de typspecifika fysikalisk-kemiska förhållandena.

Tabell 2. En sammanfattning av krav på övervakning av marina växtplankton i föreskrift HVMFS 2019:25 Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter om klassificering och miljö-kvalitetsnormer avseende ytvatten.

Del av föreskrift	Kvalitetsfaktor och ingående parametrar
Bilaga 4: bedömningsgrunder för biologiska kvalitetsfaktorer i kustvatten och vatten i övergångszon	Växtplankton i kustvatten och vatten i övergångszon ska klassificeras utifrån parametrarna biomassa av växtplankton, uttryckt som biovolym, och klorofyll <i>a</i> .

Övervakning av produktionsområden för musslor och ostron

Enligt kommissionens genomförandeförordning 2019/627 skall de behöriga myndigheterna (i Sverige Livsmedelsverket) regelbundet övervaka de produktions- och återutläggningsområden som klassificerats i enlighet med artikel 18.6 i förordning (EU) 2017/625 för att bl.a. kontrollera eventuell förekomst av toxinproducerande plankton i vattnet i produktions- och återutläggningsområdena.

Badvattendirektivet

Direktivet har fokus på mikrobiell kontamination. Utöver detta skall bl.a. förekomst av marina alger undersökas. Både mikroalger (främst växtplankton) och makroalger (tång m.m.) är aktuella. Om badvattenprofilen tyder på en tendens till utbredning av makroalger och/eller marina alger skall det genomföras undersökningar för att avgöra om de kan godtas och om det föreligger hälsorisker, och lämpliga förvaltningsåtgärder skall vidtas, bland annat genom information till allmänheten.

Förordningen tar även upp cyanobakteriella risker. 1. Om en badvattenprofil tyder på att det finns risk för utbredning av cyanobakterier, skall en lämplig kontroll ske så att eventuella hälsorisker kan konstateras i tid. 2. Om en utbredning av cyanobakterier inträffar och en hälsorisk konstateras eller befaras, skall lämpliga förvaltningsåtgärder omedelbart vidtas för att förhindra att någon utsätts för fara, bland annat genom information till allmänheten.

3 Om övervakningsprogram och metodik

3.1 Om metodik för växtplanktonundersökningar

För att undersöka växtplanktons diversitet och biomassa samlas vattenprover in regelbundet. Det är eftersträvänsvärt att ha en provtagningsfrekvens som är tillräckligt hög för att fånga den naturliga variabiliteten i tid och rum. Vattenproverna (växtplanktonproverna) fixeras (konserveras) med en blandning av jod och ättiksyra (Lugols lösning) och analyseras med mikroskop. Först koncentreras provet med hjälp av en sedimentationskammare i vilken plankton sjunker till botten som utgörs av en tunn glasskiva. Kam-maren har ofta volymen 25 ml. Metoden beskrevs först av Utermöhl (Utermöhl, 1931, 1958). Med mikroskopet räknas och identifieras plankton-organismerna av en växtplanktonspecialist. Förstoringsgrad varierar

beroende på vilka plankton som analyseras. Riktigt små växtplankton (pikoplankton $< 2 \mu\text{m}$) fixeras med formaldehyd eller glutardialdehyd och koncentreras genom filtrering. Pikoplankton analyseras oftast med fluorescensmikroskop, flödescytometri är en annan metod.

Mängd växtplankton uppskattas på flera sätt. Man kan räkna antal per liter, men antal celler per liter är inte ett bra sätt att undersöka mängden eftersom storleken på växtplankton har ett stort spann, från ca $1 \mu\text{m}$ till ca $500 \mu\text{m}$ (en halv mm). Det blir lite som att räkna antal myror och elefanter i djungeln och att inte bry sig om att de är olika stora. För växtplankton används därför bestämning av biovolym eller biomassa i kol. I den här rapporten finns jämförelser mellan olika sätt att bestämma mängd växtplankton. Nya metoder som avbildande flödescytometri och molekylärbiologiska metoder beskrivs kortfattat i avsnitten fem och sex. Ytterligare en metod för att uppskatta mängd växtplankton är att mäta mängden klorofyll vilket ger en grov uppskattning av mängd växtplankton. En jämförelse mellan klorofyll och biomassa i kol presenteras senare i rapporten.

Biomassa av växtplankton bestäms i två steg.

1. I steg ett uppskattas biovolymen av de enskilda organismerna. Cirka tjugo olika geometriska figurer som liknar olika växtplanktons former används för uppskattningen. Mått som används är bl.a. diameter, längd, bredd o.s.v. Utifrån mätningarna och de geometriska figurerna räknas biovolym ut. En lista över artnamn, storleksgrupper och de geometriska figurerna uppdateras årligen. Den ursprungliga listan gäller Östersjön och Kattegatt och har tagits fram av HELCOM (Olenina et al., 2006). En lista, som uppdateras årligen, publiceras på [ICES webbplats](#). För Västerhavet, Nordsjön och Norska havet finns en utökad lista kallad Nordic Marine Phytoplankton list (NOMP-list). SMHI ansvarar för listan och uppdaterar den tillsammans med andra svenska samt danska, norska och isländska växtplanktonforskare under de årliga NOMP-mötena.
2. I steg två beräknas biomassa i kol. Genom att undersöka kolinnehåll per cell i ett stort antal växtplankton av olika storlekar har samband mellan biovolym och biomassa i kol bestämts. Sambanden är inte linjära, detaljerad information finns i Menden-Deuer and Lessard (2000). En ekvation gäller för kiselalger och en annan för övriga växtplankton. Biovolymsmätningar överskattar kiselalger jämfört med biomassa i kol. Anledningen är att kiselalger har en så kallad vakuol, en tom struktur i cellerna.

I Fig. 6 illustreras förhållandet mellan biovolym och biomassa i kol. Andelen kiselalger överskattas om biovolym används för att uppskatta mängd växtplankton. Biomassa i kol är att föredra för att få en korrekt bild av total biomassa och av andelen kiselalger jämfört med andra grupper.

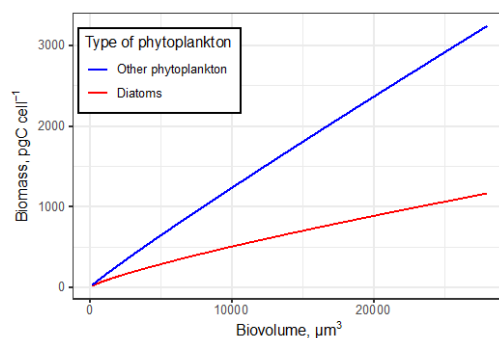


Fig. 6. Förhållandet mellan biomassa och biovolym för kiselalger (diatoms) och för övriga växtplankton. Figuren är baserad på Menden-Deuer and Lessard (2000).

Utöver de metoder som beskrivits ovan samlas växtplankton också in med håv med en maskstorlek på 10 μm. Håven dras vertikalt i vattnet från 20 m djup upp till ytan. Håvprovtagning är inte kvantitativ, det går inte att veta hur mycket vatten som har passerat håven och små växtplankton passerar rätt igenom håven, ömtåliga växtplankton skadas av håven rent mekaniskt. Analys av håvprover ger en snabb översikt över vilka större, robusta växtplankton som finns i vattnet. Det är ofta mycket användbart, bl.a. för att fånga upp förekomst av vissa skadliga alger.

3.2 Övervakningsprogram

Under år 2022 pågick flera olika övervakningsprogram för växtplankton längs Västra Götalands kust. I tabell 3 beskrivs programmen kortfattat.

Provtagningspunkter (stationer) visas på kartan i Fig. 7, även stationer där det endast sker provtagning av klorofyll och fysiska samt kemiska parametrar är med på kartan. Provtagning sker en gång i månaden på de flesta platserna, förutom vid en station i det nationella programmet, provtagning 24 ggr per år vid station Släggö, och i Livsmedelsverkets (SLV) kontrollprogram där provtagning sker en gång i veckan. I Livsmedelsverkets övervakningsprogram ingår endast växtplanktonarter som producerar alggifter som kan ansamlas i musslor och ostron. Kvantitativ växtplanktonprovtagning sker med en slang som fångar in vattenpelaren från djupintervallet 0–10 m. Syftet med detta är att man skall få med växtplankton som ligger i tunna skikt. Provtagning vid ett fast djup skulle innebära att dessa tunna skikt ofta förbises. I BVVF-programmet provtas även djupintervallet 10–20 m med slang. Detta sker inte i övrig växtplanktonövervakning.

Det sker en viss samordning mellan Bohuskustens vattenvårdsförbunds (BVVF) program och Länsstyrelsens program. Metodiken för provtagning och analys av prover beskrivs i Material och metoder. BVVF-resultat levereras inom sex veckor. Resultat från nationell provtagning levereras 1–17 månader efter provtagning. Analys av håvprover sker direkt efter provtagning och resultat är klara inom några dagar. Dessa resultat är framförallt användbara för att upptäcka skadliga algblomningar i ett tidigt skede. Resultat från Livsmedelsverkets övervakning av toxinbildande alger är klara inom några dagar efter provtagning. Resultat från Livsmedelsverkets övervakningsprogram har inte utvärderats i arbetet med denna rapport, utan resultat från åren 2014–2019 sammanfattas i en rapport från Livsmedelsverket (Persson et al., 2020).

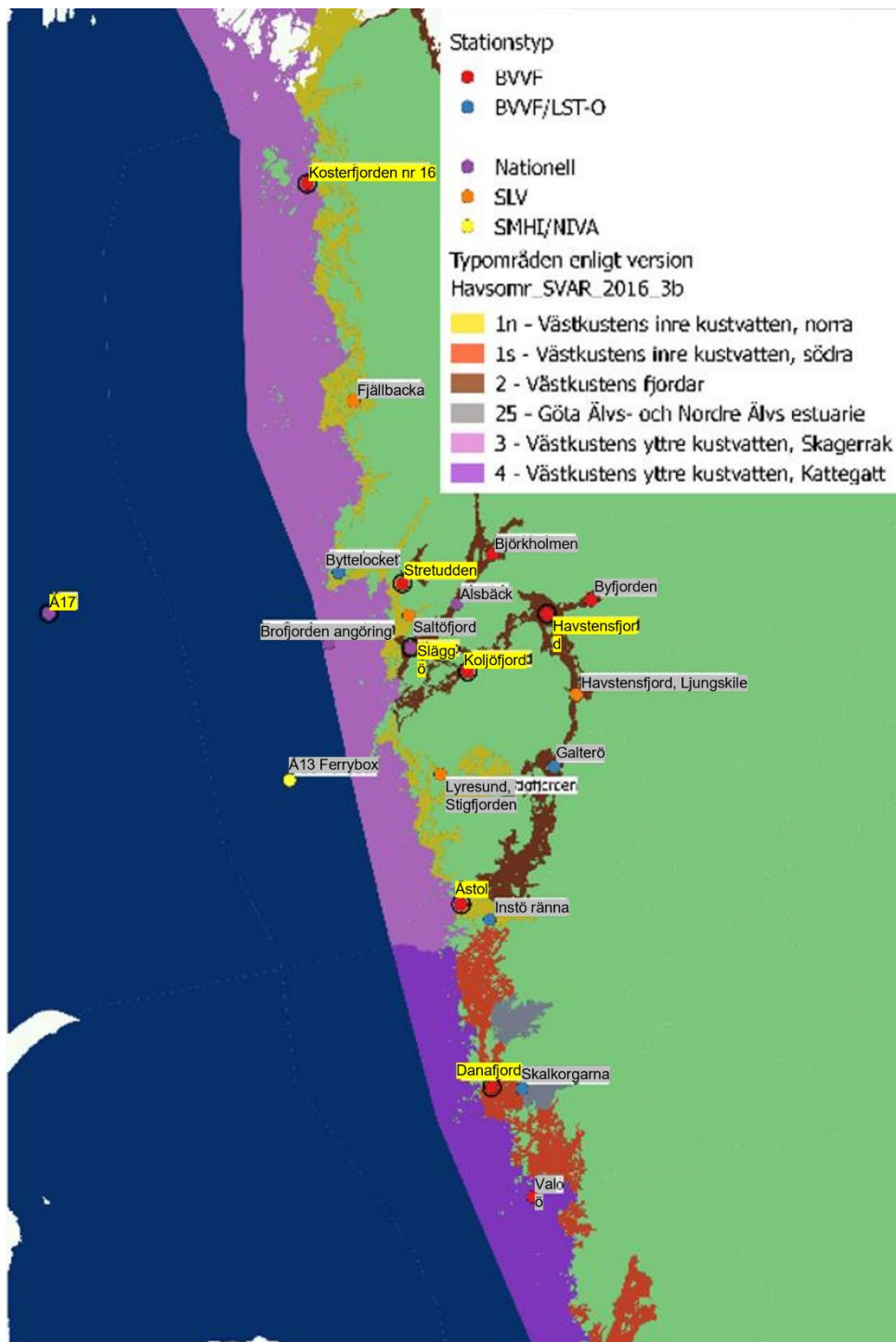


Fig. 7. Kartan visar provtagningsstationer för växtplankton, klorofyll, fysiska och kemiska parametrar vid Västra Götalands kust. Växtplanktonprovtagning har främst skett vid sex stationer märkta med gul bakgrund till texten, men resultat presenteras även från andra stationer. Provtagningsfrekvens m.m. framgår av tabell 3.

Tabell 3. Pågående övervakningsprogram för växtplankton vid Västra Götalands kust år 2022. Se även karta i figur 7. Provtagning sker normalt med slang 0–10 m djup. Vid BVVF-stationerna provtas även 10–20 m djup. Provtagning med håv sker som komplement till den kvantitativa provtagningen. SMHI utför alla analyser av växtplanktonprover.

Program	Antal stationer	Provtagningsfrekvens och kommentar	Provtagningsperiod
Nationell miljöövervakning ^{1,3}	2	Å17 12 ggr/år Släggö 24 ggr/år*	januari–december
SMHI/NIVA ²	1	Varannan vecka Provtagning med Ferrybox-system nära station Å13	januari–december
Bohuskustens Vattenvårdsförbund (BVVF) ¹	6	1 gång per månad Två djupintervall: 0–10 m och 10–20 m	januari–december
Bohuskustens Vattenvårdsförbund (BVVF) – bryggprovtagning [‡]	3	3 gånger per månad, endast provtagning med håv, ingen kvantitativ analys är möjlig	april–juni
Länsstyrelsen för Västra Götaland ^{1,3}	4	1 gång per månad	maj–september
Livsmedelsverket	3–4 (ibland fler)	1 gång per vecka Endast toxin-producerande alger analyseras	januari–december

¹Länsstyrelsen för Västra Götaland finansierar analys av växtplanktons biomassa (enheter: biovolym och kolinnehåll). Sommarprovtagning av 4 stationer görs för att motsvara bedömningsgrunden inom vattendirektivet.

² Automatisk provtagning från ca 4 m djup sker med Ferryboxsystem på färjan ColorFantasy på rutten Oslo-Kiel-Oslo. NIVA, Norsk Institutt for Vannforskning utför provtagning.

³ Fototrofa pikoplankton ingår i analyserna.

*Under år 2021 provtogs Släggö vid 45 tillfällen.

‡ Platser för bryggprovtagning visas ej på Karta: Örsviken (Askimsfjorden), Lysekil (Gullmarsfjorden) och Tjärnö (Kosterfjorden).

3.3 Förändringar i övervakningsmetodik sedan senaste utvärderingen

SMHI utvärderade resultat från växtplanktonövervakning i Skagerrak, Kattegatt, och Öresund senast år 2011 (Skjevik et al., 2011). Då ingick data fram till år 2010. Sedan dess har ytterligare 11 års data tillkommit. Vid de nationella stationerna (Släggö och Å17) har analys av riktigt små växtplankton, pikoplankton (0,2–2 µm) lagts till sedan år 2018. Länsstyrelsen har finansierat provtagning och analys av växtplankton (inklusive bioolymer och biomassa som kol) vid fyra nya stationer maj–september (Byttelocket, Galterö, Instö Ränna och Skalkorgarna) sedan år 2016. Även vid dessa stationer analyseras pikoplankton med start år 2018. Länsstyrelsen har även finansierat analys av bioolymer och biomassa som kol för BVVF-stationer.

SMHI har tillsammans med NIVA (Norsk Institutt for Vannforskning) startat automatisk växtplanktonprovtagning nära station Å13 med ett Ferrybox-system på färjan ColorFantasy som går på rutten Oslo-Kiel-Oslo som passerar svenskt vatten. Här sker provtagning varannan vecka.

Livsmedelsverket har infört veckovis provtagning vid 3–4 fasta platser längs Västra Götalands kust från år 2021. Två varianter på analyser används. Den ena veckan analyseras endast toxinbildande dinoflagellater, den andra veckan både toxinbildande dinoflagellater och andra toxinbildande växtplankton.

4 Material och metoder

4.1 Provtagning och analys av prover

Stationsnamn, position, kustsvattentyp (= typområde) samt beteckning för vattenförekomst för data som använts listas i bilaga 1. Metodiken för analys av prover har utvecklats under åren. Vid de nationella stationerna infördes mätning av celler och beräkning av biovolym och biomassa i kol från ca år 2000. Denna metodik infördes av Bohuskustens Vattenvårdsförbund och Länsstyrelsen år 2009. Analys av fototrofa pikoplankton infördes år 2018 på de nationella stationerna och ungefär samtidigt på fyra stationer som endast provtas maj–september.

Växtplanktonprovtagning har normalt sett skett med slang 0–10 m. När ett kraftigt utslag på klorofyll-fluorometer (djup-profiler) visar på förhöjd växtplanktonförekomst vid ett visst djup, tas även prov vid det djupet. Prover för växtplanktonanalys har konserverats med sur Lugols lösning. Under månaderna maj–september har prover även konserverats med basisk Lugols lösning vilket är nödvändigt om växtplankton med kalkplattor skall analyseras. Det gäller framförallt så kallade coccolithoforider, t.ex. *Emiliana huxleyi*. Analys har skett med mikroskop genom att koncentrera 25 ml prov i sedimentationskammare (Edler and Elbrächter, 2010; Utermöhl, 1958). Cellvolym har bestämts enligt HELCOM (Anonymous, 2017; Olenina et al., 2006) med uppdateringar av NOMP (Nordic Marine Phytoplankton group). Biomassa i kol har beräknats baserat på cellvolym (Menden-Deuer and Lessard, 2000). Programvaran Plankton Toolbox (Karlson et al., 2015) har använts vid mikroskopet under analyserna sedan ca år 2015.

Provtagnings- och analysmetodik beskrivs även av Havs- och vattenmyndigheten:

[Undersökningstyp: Växtplankton Version 1:3, 2016-09-16](#). I nivå 2 sker en normal analys, där alla organismer kvantifieras och bestäms till art, släkte eller högre taxonomisk nivå och de dominerande organismerna till art. Som tillägg (om uppdragsgivaren så önskar) bestäms biomassan av växtplankton-populationen genom mätning och beräkning av ett antal slumpvis utvalda organismer inom varje taxon.

Högre frekvent provtagning (ca 25 gånger per år) har skett vid station Släggö. Frekvent provtagning (12 gånger per år) har skett vid BVVF-stationerna och station Å17. De fyra stationerna som finansierats av Länsstyrelsen för Västra Götaland har provtagits en gång per månad maj–september.

Fototrofa pikoplankton (mindre än 2 µm) har analyserats med fluorescensmikroskop. Proverna fixerades med formaldehyd (slutkoncentration 1,5 %) och koncentrerades på filter av polykarbonat med en diameter av 25 mm och porstorlek på 0,2 µm. Filtrerad volym var 20 ml. De organismer som observerades delades in i *Synechococcus*-liknande gulfluorescerande plankton och i rödfluorescerande eukaryota pikoplankton. Excitation filter i mikroskopet var 488 nm (pikoeukaryoter) och 546 nm (*Synechococcus*).

Klorofyll, som är ett grovt mått på mängd växtplankton, samt fysiska och kemiska parametrar har provtagits samtidigt som växtplanktonprovtagning skett. Klorofyll, fysiska och kemiska parametrar har även mätts på flera stationer där växtplanktonprovtagning inte skett. Analyser har utförts enligt HELCOM (Anonymous, 2017).

4.2 Källa till data

Växtplanktondata samt data gällande klorofyll, fysiska och kemiska parametrar har laddats hem från Svenskt Oceanografiskt Datacentrum vid SMHI från <https://sharkweb.smhi.se>. Data från stationer där växtplankton har samlats in har varit i fokus, se tabell 1. SMHI är nationell datavärd för marinbiologiska och oceanografiska data på uppdrag från Havs- och vattenmyndigheten. Data är fritt tillgängliga (open access) och distribueras även till [ICES](#), [EEA](#), [EMODnet](#) och till UNESCO-IOC: Ocean Biodiversity Information System, [OBIS](#).

4.3 Analys av data och statistiska metoder

Data från perioden 1986–2021 har analyserats. Metoder, antal stationer m.m. har varierat under åren vilket innebär att tidsperiod är olika för olika analyser. I Fig.8 visas provtagningstillfällena för olika stationer.

Växtplanktondata har aggregerats till olika taxonomiska nivåer med programvaran Plankton Toolbox (Karlson et al., 2015). Produktion av diagram har skett med programvaran R och framförallt paketet tidyverse (R_Core_Team, 2022). Kartan (Fig. 7) producerades med Q-GIS (QGIS-Association, 2022). Både R och Q-GIS är fria, ”open source”, programvaror. De viktigaste programbiblioteken som användes i R ingår i tidyverse (Wickham et al., 2019). Trendanalys skedde med linjär regression och med GAM [Generalized Additive Models](#) (Pedersen et al., 2019; Simpson and Singmann, 2018; von Brömssen et al., 2021; Wood, 2006). Författarna har även övervägt att använda Mann-Kendall test som användes i rapport från 2011 (Skjævik et al., 2011), men efter diskussioner med Claudia von Brömssen, Institutionen för energi och teknik, Tillämpad statistik och matematik, vid Sveriges Lantbruksuniversitet, valde vi GAM.

Tabell 4. Tabellen visar stationsnamn samt kustvattentyp (typområde) och ger information om växtplanktonprovtagning. Provtagning för klorofyllmätning har skett på alla stationer. Se karta (Fig. 7) samt appendix 1 för ytterligare information. Nedlagda stationer, t.ex. Alsback (i Gullmarsfjorden) och BroA (Brofjordens angöring) har inte tagits med i tabellen.

Stationsnamn	Kustvattentyp	Växtplankton
BYTTELOCKET	1n Västkustens inre kustvatten, norra	Endast sommartid 2016–2021
INSTÖ RÄNNA		Endast sommartid 2016–2021
STRETUDDEN		Ja
DANAFJORD	1s Västkustens inre kustvatten, södra	Ja
BJÖRKHOLMEN	2 Västkustens fjordar	Nej
BYFJORDEN		Endast ett fåtal prover
GALTERÖ		Endast sommartid 2016–2021
HAVSTENSFJORD		Ja
KOLJÖFJORD		Ja
SLÄGGÖ		Ja
SKALKORGARNA	25 Göta Älvs och Nordre Älvs estuarie	Endast sommartid 2016–2021
ÅSTOL	3 Västkustens yttre kustvatten, Skagerrak	Ja
KOSTERFJORDEN NR16		Ja
VALÖ	4 Västkustens yttre kustvatten, Kattegatt	Endast ett fåtal prover
Å17	Ej kustvatten	Ja

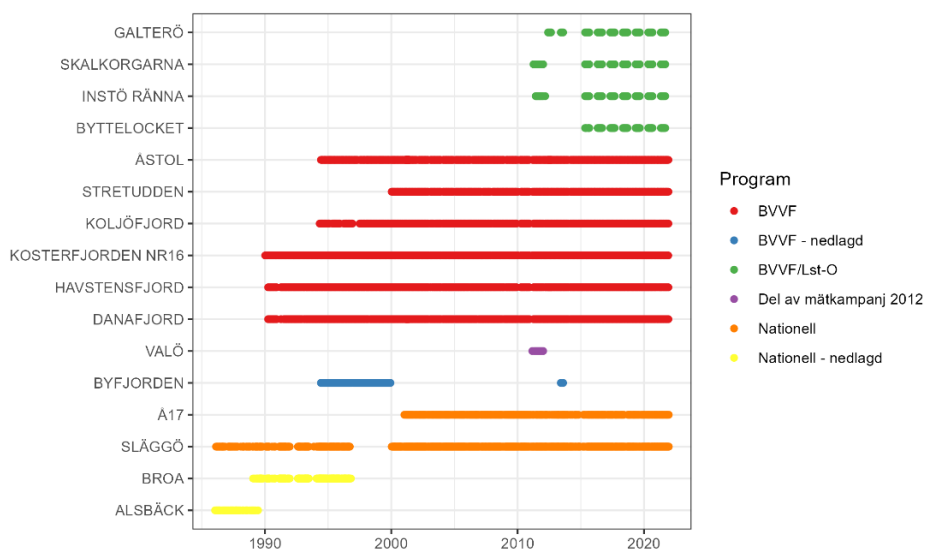


Fig. 8. En översikt över provtagningstillfällen inom växtplanktonövervakning i Västra Götalands Län 1986–2021 som använts i utvärderingen. Livsmedelsverkets provtagning av toxinbildande alger har inte tagits med i figuren och inte heller data från SMHI/NIVA Ferrybox-provtagning vid station Å13 eller håv-provtagning från bryggor (april–juni) inom BVVF. Data från dessa provtagningar har inte heller använts i utvärderingen.

Pearson-korrelationer har använts för att undersöka eventuella linjära samband mellan olika parametrar. R^2 -värden $>0,8$ anses vara mycket starka, $0,6-0,8$ starka, $0,4-0,6$ måttliga och $0,2-0,4$ svaga. Dessa gränser används när resultat tolkas senare i rapporten.

Författarna har också använt så kallad "box and whisker plot". Median visas i mitten av boxen. De nedre och övre avgränsningarna av boxen motsvarar 25 och 75 percentilerna. I en skårad ("notched") boxplot motsvarar höjden på skårorna ungefär 95 % konfidensintervall för att jämföra medianer. Se (McGill et al., 1978) för information om längd av "whiskers" m.m.

För att undersöka biodiversitet har data för cellantal och biomassa i kol använts. Två olika uppskattningar för biodiversitet har utförts; alfadiversitet, där uträkningar baseras på cellantal, och betadiversitet, där uträkningar baseras på biomassa i kol. Alfadiversitet är ett mått på antalet olika arter inom ett område eller ekosystem. Det visar hur mångsidigt och varierat livet är på en plats. Betadiversitet avser mångfalden av olika habitat eller livsmiljöer inom ett ekosystem. Det mäter hur olika de olika delarna av en plats är och hur de tillsammans bidrar till en varierad miljö. Organismer som inte har identifierats ("flagellates" och "unicells") har uteslutits från analysen. För alfadiversitet så har dels antal observerade arter eller släkten undersökts, dels har Shannons diversitetsindex beräknats. En fördel med att använda Shannons diversitetsindex är att hänsyn tas till provtagningsfrekvens och uppmätt parameter, i det här fallet har författarna valt cellantal. När det gäller variationen mellan planktonsamhällen så kallad betadiversitet och vilka miljöfaktorer som styr så har växtplanktondata analyserats med hjälp av paketet "vegan" i R (Oksanen, 2022).

Klorofyll samt fysiska och kemiska parametrar har provtagits med vattenhämtare från fasta djup. Data har medelvärdesbildats över djupintervallet 0–10 m för att bli jämförbara med växtplanktonprovtagning med slang 0–10 m. I inre delen av Gullmarsfjorden finns en provtagningsstation kallad Björkholmen och en annan kallad Inre Gullmarn/Björkholmen. De har inte provtagits under samma tidsperioder. Data från de två stationerna har slagits samman och presenteras under namnet Björkholmen.

5 Resultat

5.1 Växtplanktonbiomassa – tidsserier

Exempel på olika växtplankton finns i Fig. 2–5. Som beskrivits ovan beräknas växtplanktonbiomassa i kol utifrån mätningar av biovolym och kända relationer mellan biovolym och biomassa i kol. Växtplanktonbiomassan längs Västra Götalands kust domineras av kiselalger (Bacillariophyceae) och dinoflagellater (Dinophyceae), se Fig. 2 och Fig. 3. Även rekylalger (Cryptophyceae) och häftalger (Prymnesiophyceae) utgör en betydande del av biomassan. Algklassen Dictyochophyceae (saknar svenskt namn) utgör vissa år en betydande del av biomassan, t.ex. våren 2017. *Pseudochattonella*, *Pedinella*, *Dictyocha* och *Octactis* är några vanliga släkten inom Dictyochophyceae. De två sista har en sorts skelett av kisel men de tillhör inte gruppen kiselalger. Det finns även växtplankton från flera andra algklasser, se avsnitt om biodiversitet nedan. Djurplankton mindre än 0,2 mm benämns mikrozooplankton. Bland dessa är ciliater (Ciliophora) vanliga. Några av

ciliaterna har kloroplaster som "stulits" från växtplankton. Dessa ciliater fungerar i praktiken som växtplankton med ovanligt god simförmåga. "Autotrophic ciliates" i Fig. 5 är ciliater med kloroplaster, främst *Mesodinium rubrum*.

Bestämning av biomassa i kol har utförts sedan år 2000 på station Släggö vid Gullmarsfjordens mynning och från år 2001 på station Å17 i centrala Skagerak. Bohuskustens Vattenvårdsförbund (medfinansiering från Länsstyrelsen för Västra Götaland) införde analys av biomassa vid sex stationer från år 2009. Från år 2016 sker växtplanktonanalys vid fyra stationer till, men endast del av året (maj–september, finansierat av Länsstyrelsen). Tidsserier som visar årsmedelvärden visas i Fig. 9. I Fig. 10 visas sommarmedelvärden. En statistisk analys visar att det inte finns några trender i dessa data.

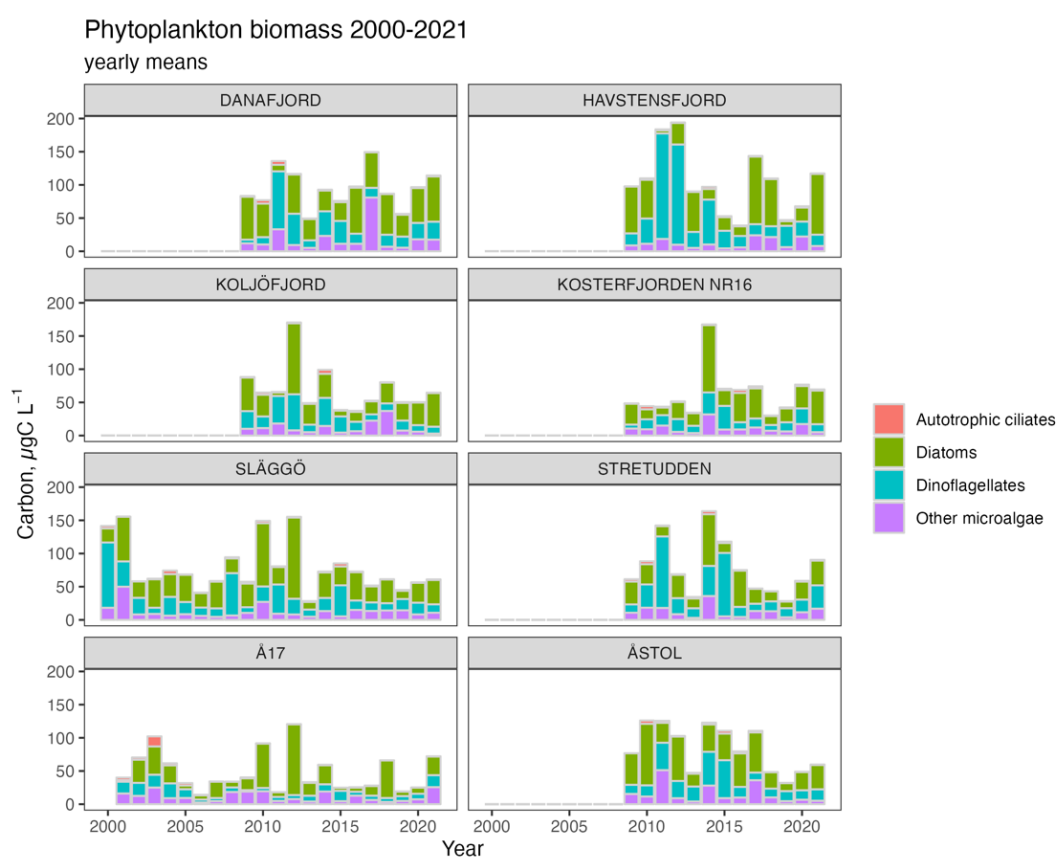


Fig. 9. Årsmedelvärden för växtplanktonbiomassa (enhet i kol) vid åtta stationer. Biomassan är uppdelat i huvudgrupper av växtplankton. Mätningar av biomassa påbörjades år 2000 vid Släggö, år 2001 vid Å17 och år 2009 vid BVVF-stationerna.

Phytoplankton biomass 2000–2021
summer means (June, July and August)

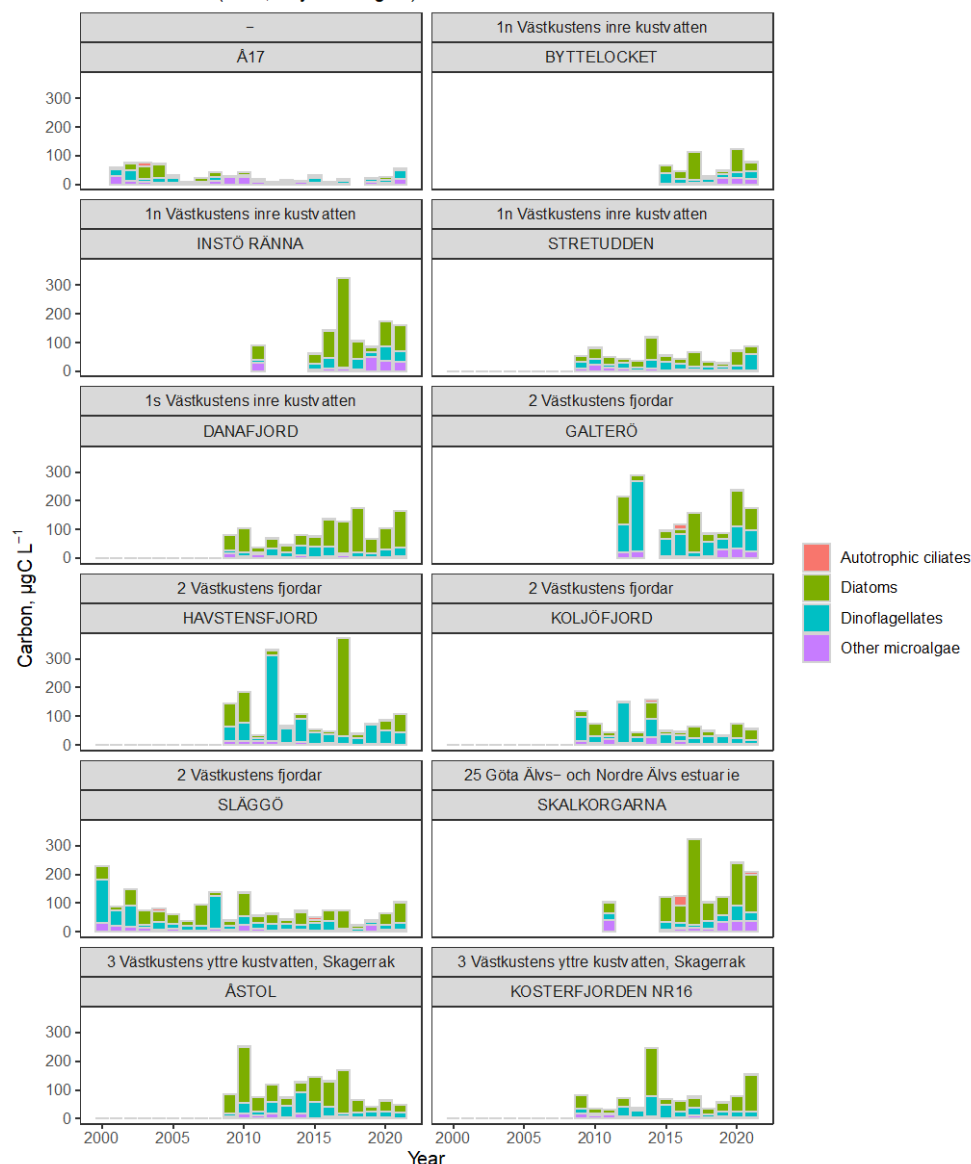


Fig. 10. Sommarmedelvärden för växtplanktonbiomassa (enhet i kol) vid tolv stationer. Biomassan är uppdelat i huvudgrupper av växtplankton. Mätningar av biomassa påbörjades år 2000 vid Släggö, år 2001 vid Å17 och år 2009 vid BVVF-stationerna. Vid fyra stationer som finansieras av Länsstyrelsen för Västra Götaland startade mätningarna ca år 2016. Åren 2011 genomfördes en mätkampanj då ovanligt många stationer provtogs.

5.2 Växtplanktonbiomassa – årscykel

I Fig. 11 och Fig. 12 visas månadsmedelvärden för huvudgrupper av växtplankton. De flesta stationer har hög biomassa i februari eller mars då vårbloomning ofta observeras. Då dominerar kiselalger i genomsnitt men vissa år, framförallt år 2017, utgör Dictyochophyceae en hög andel. Det är *Pseudochattonella* spp., en alg som orsakar fiskdöd, som blommar samtidigt, eller direkt efter, kiselalgerna. Vid Släggö och Å17 observerades vårbloomning ofta redan i februari. Det kan vara en effekt av att provtagningen vid övriga

stationer alltid sker i början av februari då blomningen inte startat ännu. Vid Släggö är provtagning mer frekvent och vid Å17 sker provtagning ofta lite senare i februari jämfört med kuststationerna. Efter vårbloomingen ökar andelen dinoflagellater i den totala växtplanktonbiomassan. Även andelen övriga algklasser ökar under sommaren. I Kosterfjorden observerades den högsta biomassan av växtplankton i genomsnitt under juli månad. Havstensfjorden avviker från övriga stationer när det gäller fördelningen av biomassa mellan alggrupper under hösten. Dinoflagellater utgör en mycket stor andel i augusti och september då även höga biomassor noteras.

Vid de stationer där växtplanktonprovtagning endast skett under maj–september under åren 2016–2021 kan man lyfta fram att högst biomassa noterades i juni. Biomassan vid dessa stationer verkar inte avvika nämnvärt från närliggande stationer. Tidsserien är dock kort vilket inneburit att någon direkt jämförelse inte gjorts.

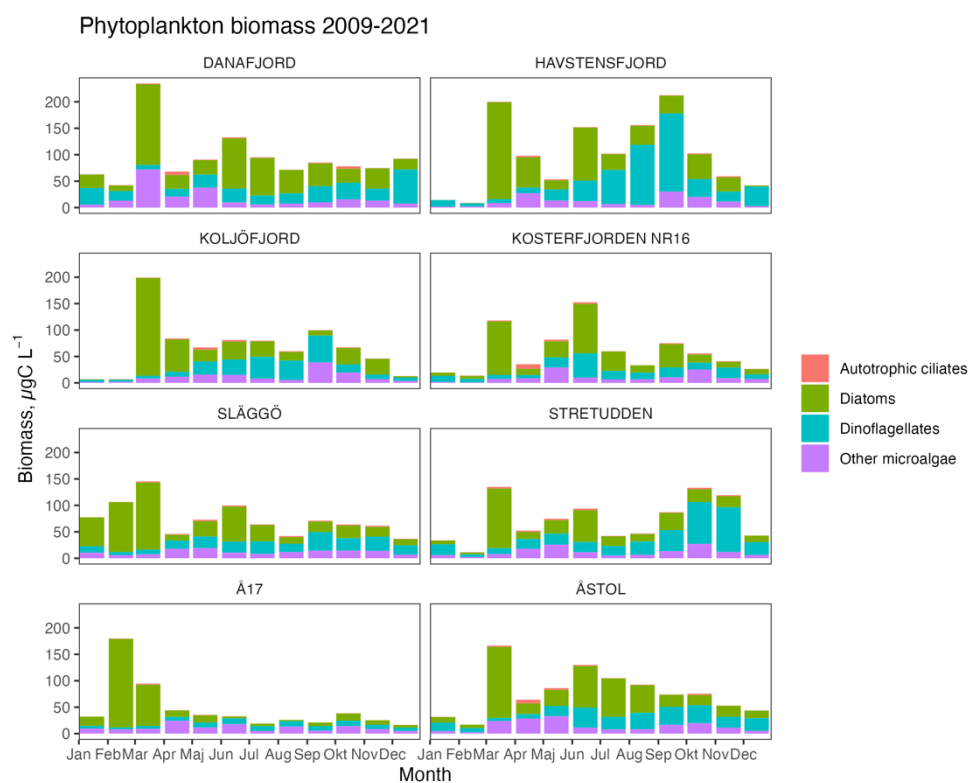


Fig. 11. Årscykel för växtplankton: månadsmedelvärden för växtplanktonbiomassa vid åtta stationer baserade på provtagningar åren 2009–2021. Vid de nationella stationerna Å17 och Släggö finns observationsdata även tidigare, men dessa data har utslutits i dessa diagram så att diagrammen är jämförbara mellan stationer. Biomassan är uppdelat i huvudgrupper av växtplankton.

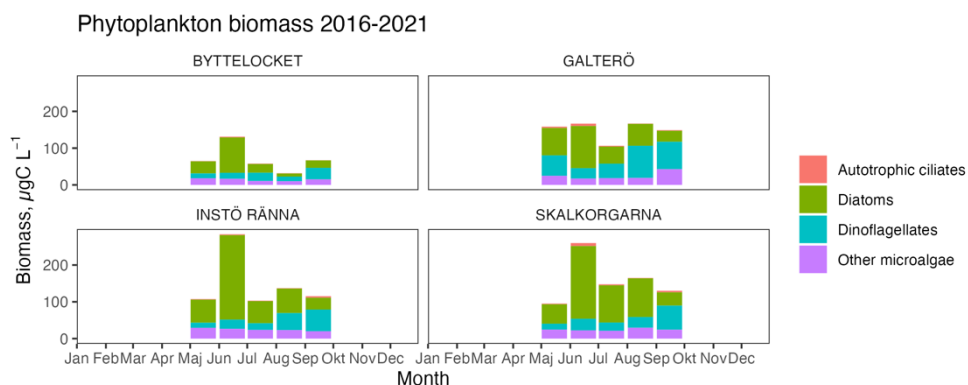


Fig. 12. Månadsmedelvärden för växtplanktonbiomassa vid fyra stationer baserade på provtagningar åren 2016–2021. Vid dessa stationer har provtagning av växtplankton skett endast under perioden maj–september med start år 2016. Biomassan är uppdelat i huvudgrupper av växtplankton.

I Fig. 13 presenteras växtplanktonbiomassa för sommaren för åren 2016–2021 (medelvärden juni–augusti). Data har delats upp per station och grupperats efter kustvattentyp (= typområde). Variabiliteten inom kustvattentyperna är stor förutom för typ 3 (Västkustens yttre kustvatten, Skagerrak). Det är värt att notera att högst biomassa observerats vid Skalkorgarna och Instö ränna. Dessa två stationer påverkas av vatten från Göta Älv, bl.a. av närsalts-tillförsel.

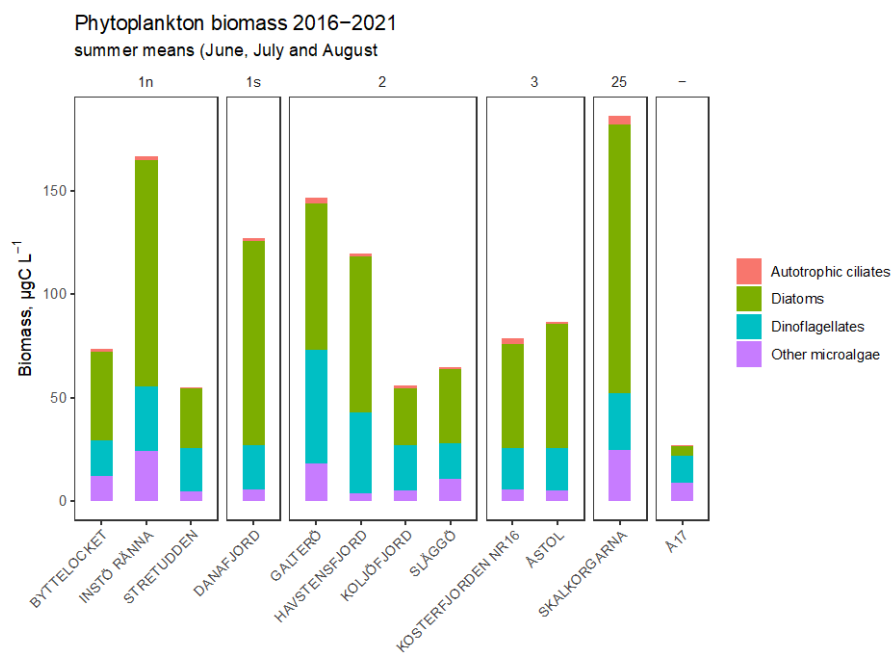


Fig. 13. Växtplanktonbiomassa per station uppdelat efter kustvattentyp (se tabell 4). Sommarmedelvärden (juni–augusti) för tolv stationer för perioden 2016–2021 presenteras. Biomassan är uppdelat i huvudgrupper av växtplankton.

5.3 Om provtagningsfrekvens

I Fig. 14 visas data från station Släggö år 2021. Under detta år var provtagningsfrekvensen ovanligt hög, provtagning skedde vid 45 tillfällen. Diagrammet visar att det är en hög temporal variabilitet. Det kan förklaras både av att växtplankton tillväxer fort, vilket innebär att biomassan kan fördubblas på några dagar, och att betning av djurplankton kan vara hög. Dessutom transporterar havsströmmar växtplankton och en algblomning kan ansamlas på en viss plats som en effekt av detta. Så kallad uppvällning och nedvällning påverkar också förekomsten av växtplankton. Variabilitet kan även förklaras av att vissa växtplankton har förmågan att migrera i vertikalled.

För att undersöka om provtagningsfrekvensen en gång per månad är tillräcklig för att fånga den naturliga variabiliteten så användes data från Släggö år 2021 även till ett diagram då endast 12 provtagningar togs med. Data från den första provtagningen varje månad användes. I Fig. 14 kan man lägga märke till att variabiliteten mellan de månatliga provtagningarna (12 prover, nedre diagrammet) är stor vilket illustreras i det övre diagrammet (45 prover). Vår slutsats är att månatlig provtagning inte beskriver den naturliga variabiliteten på ett bra sätt.

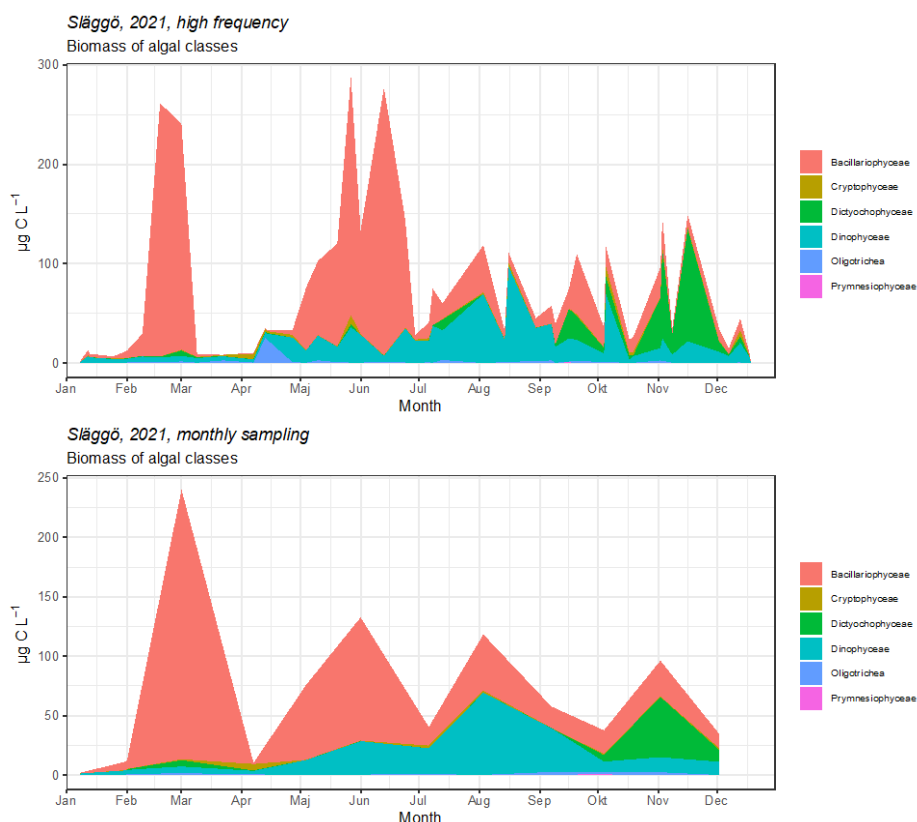


Fig. 14. Växtplanktonbiomassa i kol uppdelat på de dominerande algklasserna vid station Släggö vid Gullmarsfjordens mynning år 2021. Det övre diagrammet visar resultat från högfrekvent provtagning (45 provtagningstillfällen). I det undre diagrammet visas endast resultat från den första provtagningen varje månad (12 provtagningstillfällen). Se texten för förklaring av latinska namn.

5.4 Trendanalys av tidsserier för växtplankton

För att undersöka eventuella trender började vi med att jämföra cellantal, biovolym och biomassa i kol vid två stationer, Fig. 15. Vi noterade att totalt cellantal har ett annat mönster jämfört med biovolym och biomassa i kol. Detta är att förvänta. Cellantal inkluderar både små flagellater ca 5 µm i diameter och större växtplankton som är upp till 500 µm i diameter. Vi har även undersökt korrelationer mellan de olika parametrarna (Fig. 16–18). Vi valde sedan att gå vidare med att undersöka eventuella trender i biomassa i kol, enheten µg C L⁻¹. Biovolym (mm³ L⁻¹) valdes bort eftersom kiselalger överskattas när den parametern används, se avsnitt 3.1.

För att undersöka förändring av total växtplanktonbiomassa över tid har två olika ansatser använts. Den första är att undersöka förändring med linjär regression, Fig. 19 och Fig. 20. Den andra är att använda en GAM - General Additive Model (von Brömssen et al., 2021). GAM trendanalys är en metod som används för att undersöka och förstå mönster och trender i data, särskilt när de inte följer en rak linje. Det är bättre än linjär regression eftersom det tillåter oss att fånga mer komplexa och icke-linjära samband i data, såsom kurvor eller vågor. Resultat från en GAM-analys kan skilja sig från linjär regression eftersom den tillåter anpassningar till olika delar av datamönstret med olika typer av kurvor, vilket gör det möjligt att få en mer exakt bild av verkligheten. Fördelen med GAM analyser är alltså att den inte förutsätter att trender behöver vara monotona för att på ett statistiskt korrekt sätt kunna utvärdera och tolka resultaten som i linjär regression och Mann-Kendall tester. Den senare metoden användes i rapport från år 2011 (Skjevik et al., 2011) men har valts bort nu. När linjär regression används på årsmedelvärden för växtplanktonbiomassa i kol (Fig. 19) noteras en nedåtgående trend vid station Åstol ($p < 0,05$, $R^2 = 0,385$). För övriga stationer noteras inga trender. När linjär regression tillämpas på sommarmedelvärden (Fig. 20) noteras att en svag minskning skett vid Å17 och Släggö (Å17, $p < 0,05$, $R^2 = 0,29$, Släggö $p < 0,05$, $R^2 = 0,24$). Tidsserierna är längre för dessa stationer jämfört med övriga. Sommardata visar på en ökning av växtplanktonbiomassa vid station Danafjord ($p < 0,05$, $R^2 = 0,35$).

Resultaten från GAM analyserna (Fig. 21) visar att det generellt sett inte noterats signifikanta trender i tidsserieanalys av total växtplanktonbiomassa i kol. Ett undantag är stationen Åstol där en signifikant nedåtgående linjär trend observerats för perioden 2009–2021. När det gäller cellantal visar GAM-analys både signifikant uppgång och nedgång vid flera stationer under några kortare perioder runt år 2000. Därefter verkar parametern cellantal vara stabil. Men precis som för den linjära trenden som observerats med linjär regression vid Åstol så visar GAM analysen att det finns en signifikant nedåtgående trend för både biovolym och biomassa i kol. För specifika grupper av växtplankton visas inte hela GAM analysen som i ovanstående exempel då majoriteten av trendanalys med GAM ej visar på varken signifikanta uppåtgående eller nedåtgående trender. Men författarna noterar att för vissa planktongrupper och stationer samt för vissa släkten så finns det signifikanta trender enligt GAM analys. För dinoflagellater visar GAM analys en signifikant nedåtgående trend i biovolym och biomassa i kol vid Koljöfjord för hela perioden 2010–2021 (GAM, $p < 0,01$). Vid Å17 har dinoflagellater en signifikant nedåtgående trend mellan 2005–2009 i biovolym och biomassa i kol (GAM, $p < 0,01$). Mellan 2017–2018 har dinoflagellater en signifikant

nedåtgående trend vid Åstol (GAM, $p < 0,01$). Vid stationen Danafjord noteras en signifikant uppåtgående trend mellan 2010–2011. För *Pseudo-nitzschia* så visar trendanalys med GAM att släktet har en signifikant nedåtgående trend för hela perioden 2010–2021 vid Havstensfjord (GAM, $p < 0,01$). Men för samma släkte så finns det signifikanta uppåtgående trender vid Kosterfjorden för hela perioden 2010–2021 och Danafjord mellan 2010–2017 (GAM, $p < 0,01$).

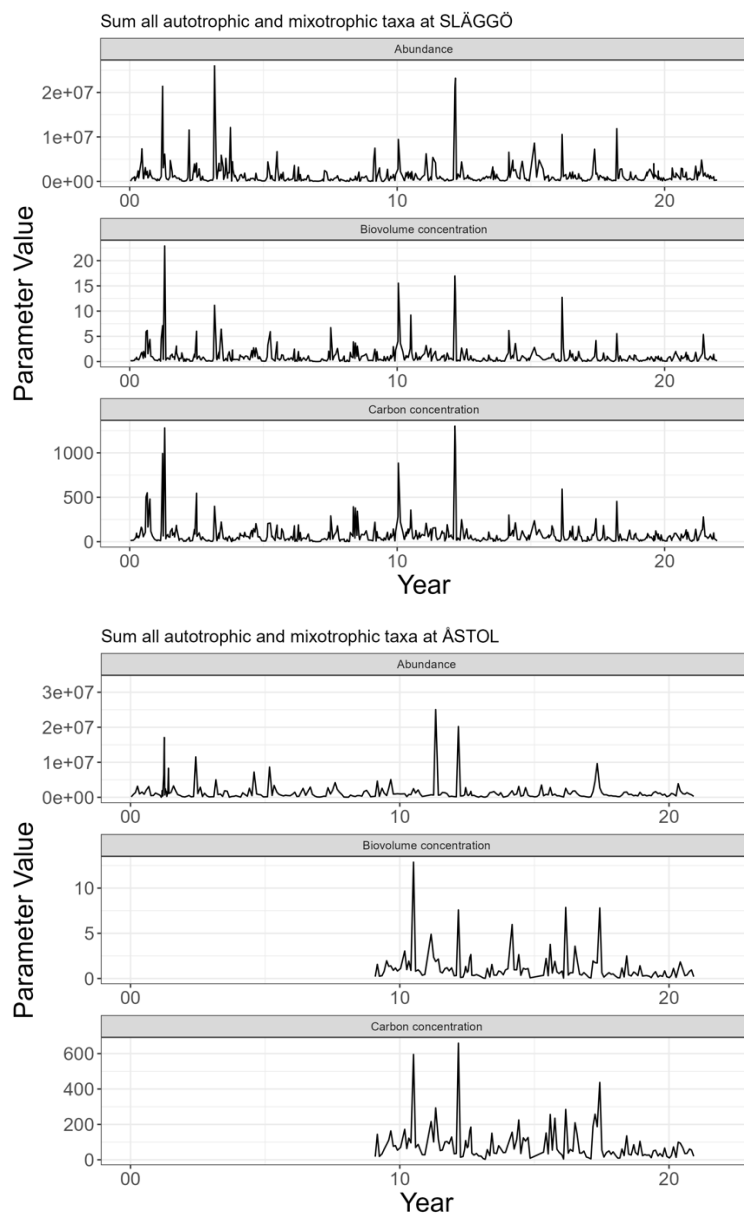


Fig. 15. Övre panelen: Tidsserier vid station Släggö vid Gullmarsfjorden mynning. Cellantal per liter (Abundance cells L⁻¹), biovolym (Biovolume concentration mm³ L⁻¹) och biomassa (Carbon concentration µg C L⁻¹). I den nedre panelen visas samma parametrar vid station Åstol i Marstrandfjorden.

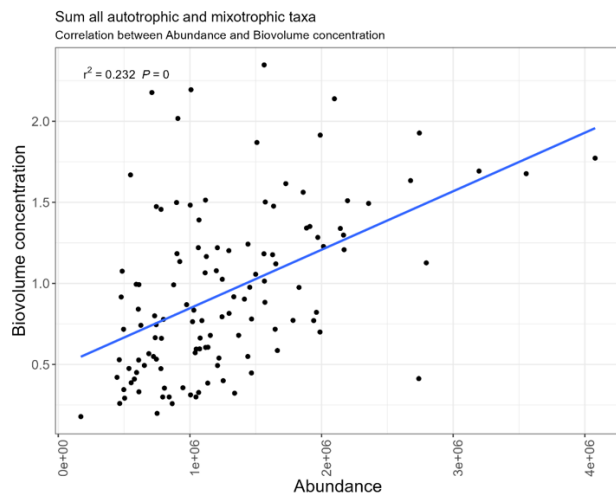


Fig. 16. Korrelation mellan celltätet (cells L-1) och biovolym (mm³ L-1)

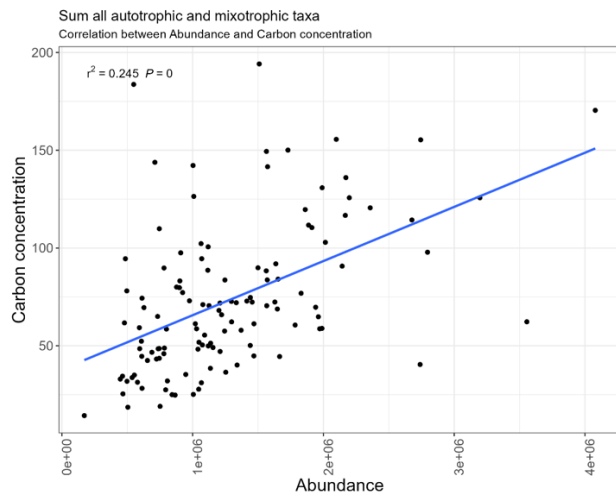


Fig. 17. Korrelation mellan celltätet (cells L-1) och biomassa (µg C L-1)

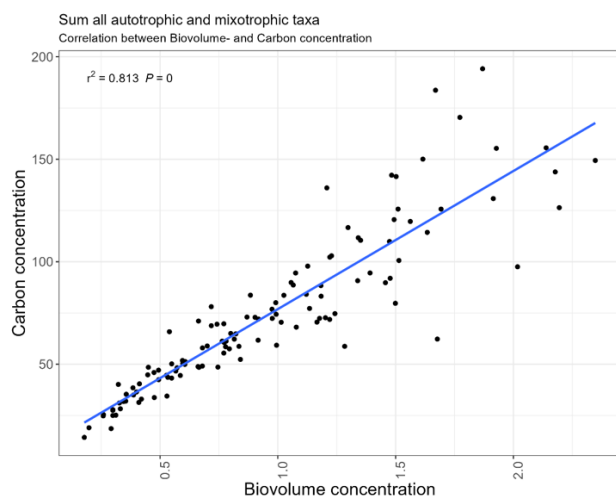


Fig. 18. Korrelation mellan biovolym (mm³ L-1) och biomassa (µg C L-1)

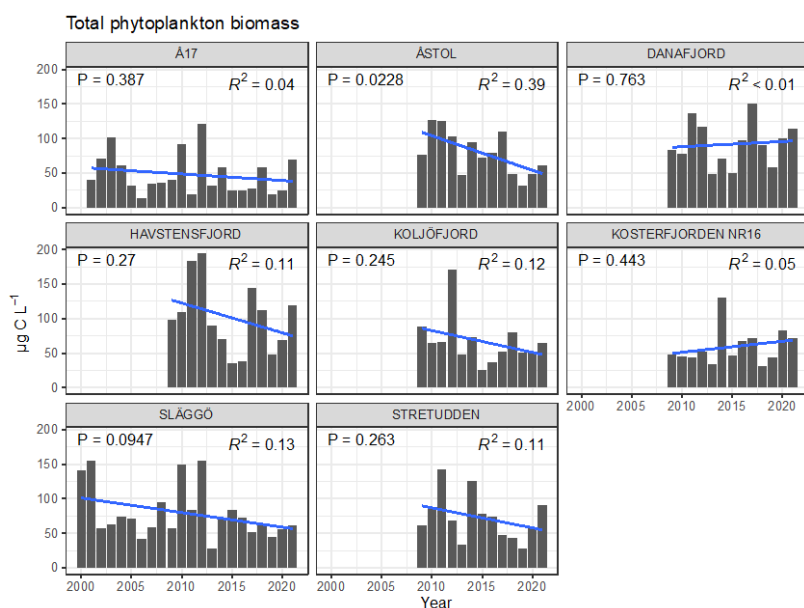


Fig. 19. Årsmedelvärden för total växtplanktonbiomassa vid åtta stationer. Vid station Åstol noterades en minskning av biomassan under perioden 2009–2021. P-värdet är <0,05 vilket indikerar signifikant minskning. Även R2-värdet indikerar en trend vid Åstol. Notera att data för stationerna Byttelocket, Galterö, Instö Ränna och Skalkorgarna inte tagits med eftersom data saknas. Där sker ingen växtplanktonprovtagning under perioden oktober–april och perioden för provtagningar är kort: 2016–2021.

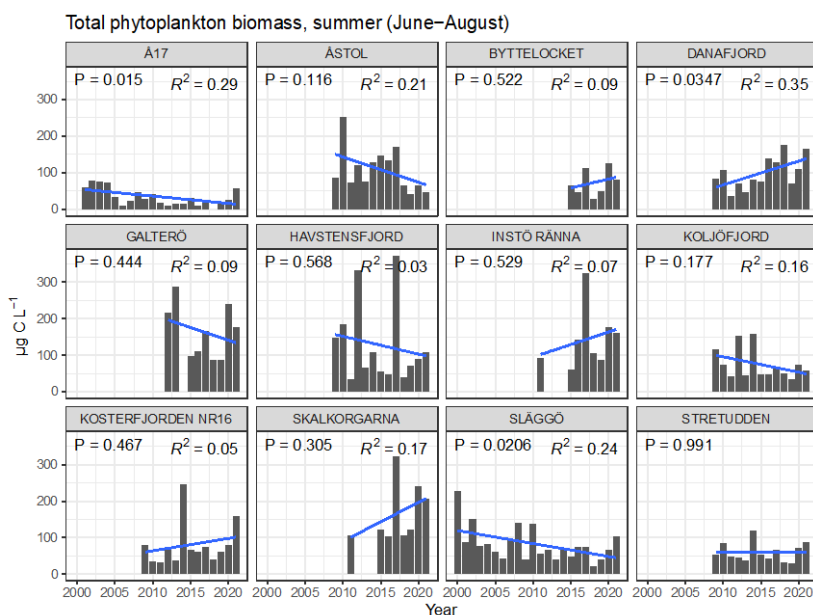


Fig. 20. Sommarmedelvärden (juni–augusti) för total växtplanktonbiomassa vid tolv stationer. Vid stationerna Släggö och Å17 noterades en minskning av biomassan under perioderna 2000–2021 respektive 2001–2021. P-värdet är <0,05 vilket indikerar signifikant minskning. Även R2-värdet indikerar en trend, men svag. Vid station Danafjord noterades en ökning av växtplanktonbiomassan under perioden 2009–2021. Vid övriga stationer noterades inga signifikanta trender.

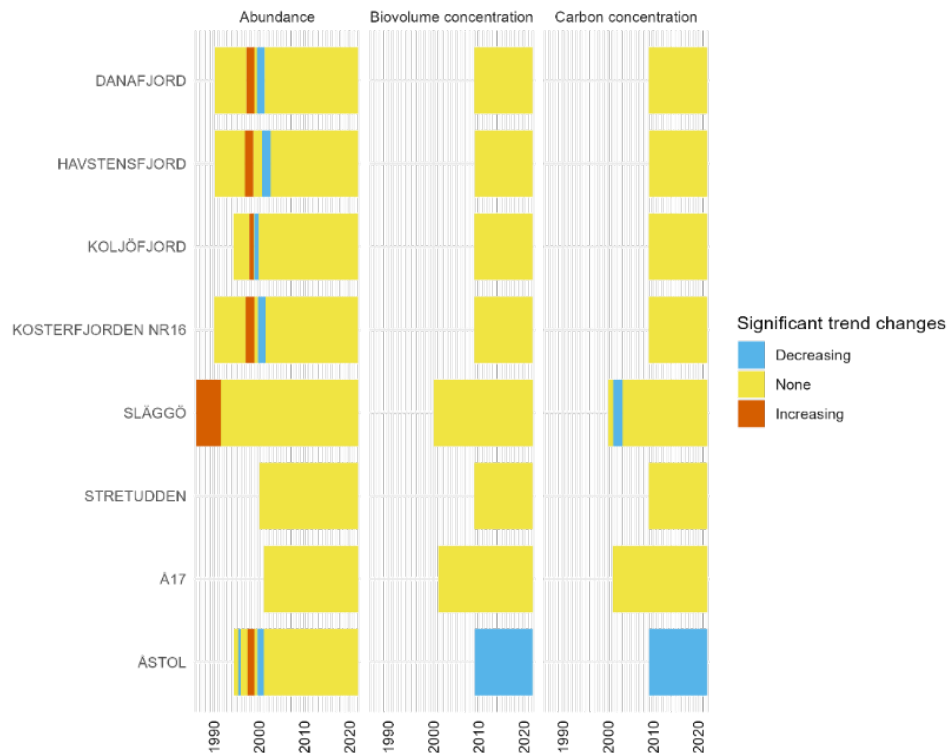


Fig. 21. Resultat från analys av total mängd växtplankton med General Additive Model. Till vänster celltäthet (Abundance, cells L-1), i mitten biovolym (Biovolume mm³ L-1) och till höger biomassa (µg C L-1). Färgerna indikerar om det finns en signifikant nedåtgående (blått), uppåtgående (rött) eller ingen trend (gult).

5.5 Bidrag från pikoplankton

Fototrofa pikoplankton (engelska picoplankton) upptäcktes i slutet av 70-talet. De benämns fortsättningsvis pikoplankton. Först noterades att små (ca 1 µm) cyanobakterier av *Synechococcus*-typ var mycket vanliga och utgör en stor del av biomassa och produktion i havet (Johnson and Sieburth, 1979). Något senare noterades att något större (1–3 µm) eukaryota plankton också var vanliga och stod för hög primärproduktion och en betydande del av biomassan. Dessa små, men talrika, växtplankton förbises med traditionell växtplanktonanalys med den så kallade Utermöhl-metoden. Fluorescensmikroskopi eller flödescytometri används idag för att kvantifiera pikoplankton. Inom nationell miljöövervakning har *Synechococcus* ingått i Bottniska viken i många år. I Västerhavet skedde studier i början av nittiotalet (Karlson and Nilsson, 1991; Kuylenstierna and Karlson, 1994). Från år 2018 analyseras pikoplankton regelbundet i Västerhavet.

Resultaten från åren 2018–2021 (Fig. 22) visar att pikoplankton av *Synechococcus*-typ står för upp till ca 15 % av den totala växtplanktonbiomassan under maj–september. Eukaryota pikoplankton har en lägre andel. Det finns metodproblem som kan ha påverkat resultaten från eukaryota pikoplankton vilket tas upp i diskussionen.

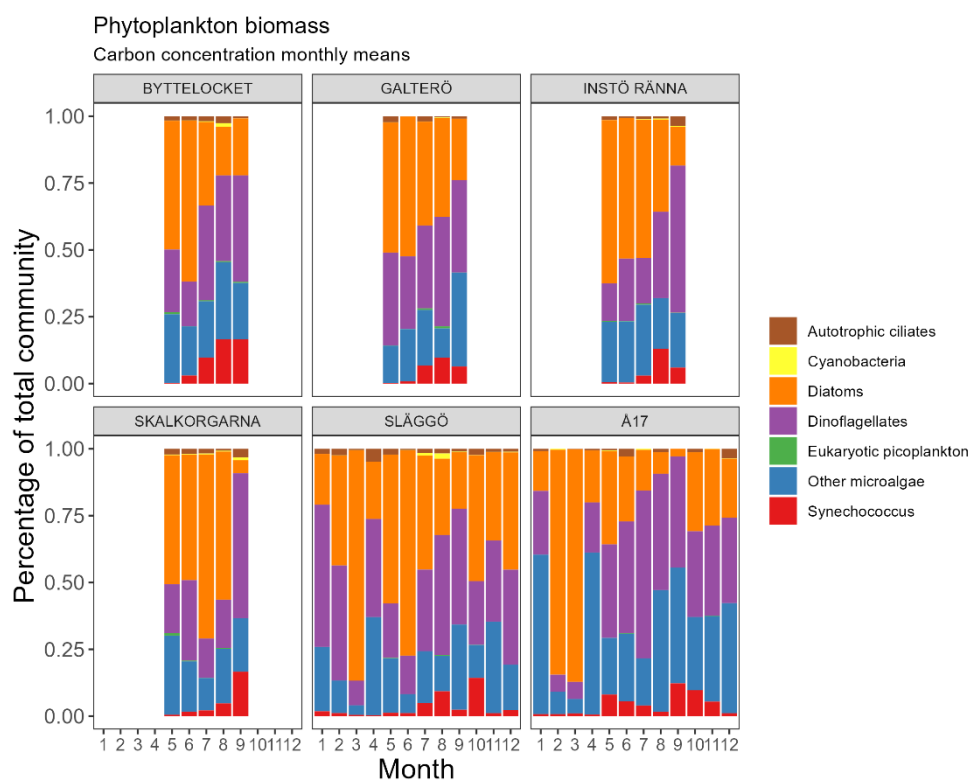


Fig. 22. Fördelningen av total växtplanktonbiomassa uppdelad månadsvis på huvudgrupper av växtplankton. Biomassan av Synechococcus och eukaryota pikoplankton kommer från fluorescensmikroskopi medan data på övriga grupper kommer från traditionell ljusmikroskopi. Månadsmedelvärden för åren 2018–2021 presenteras.

5.6 Biomassa mätt som klorofyll

Klorofyll *a* används ofta som ett grovt mått på biomassa av växtplankton. Vi har använt data från 0–10 m djup för att undersöka hur årscykeln vid olika provtagningsplatser skiljer sig åt och för att undersöka förändring över tid. Djupintervallet är valt för att en direkt jämförelse med växtplanktondata från samma djupintervall skall vara möjlig. Klorofyll mäts vid fler stationer än växtplankton vilket innebär bättre rumslig täckning. Mätningar av klorofyll har pågått längre än bestämning av växtplanktonbiomassa ($\mu\text{g C L}^{-1}$) baserat på mikroskopanalys av planktonprover. En jämförelse mellan klorofyll och växtplanktonbiomassa presenteras i Fig. 23. Det finns starka korrelationer mellan biomassa i kol och klorofyll när data har \log_{10} -transformerats.

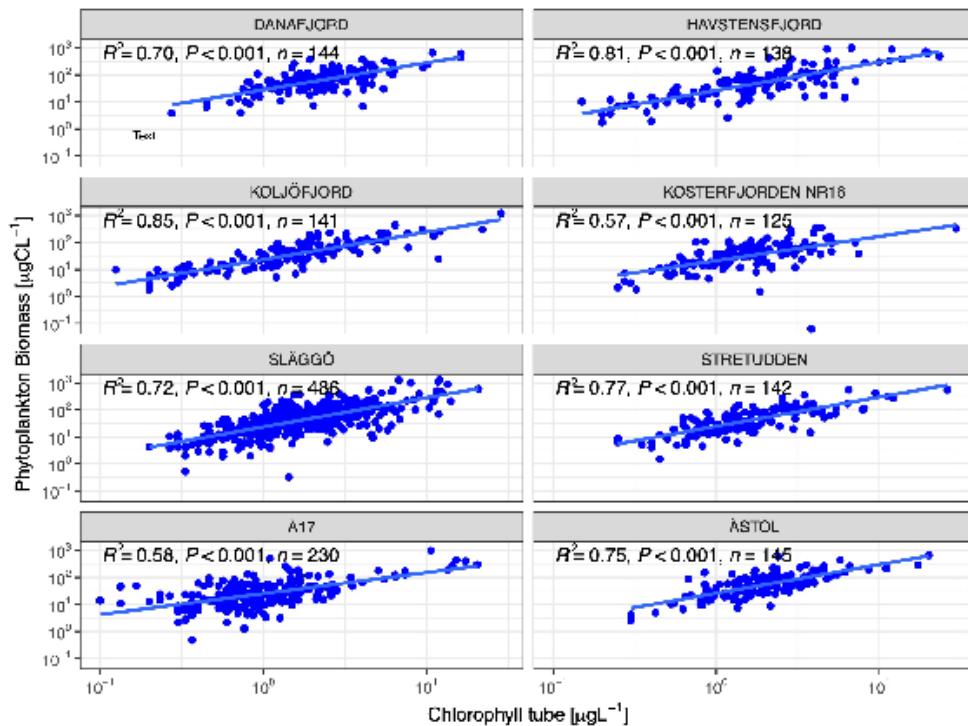


Fig. 23 Korrelation mellan biomassa i kol och klorofyll. Notera att det finns starka korrelationer men att data först har log10-transformerats.

Årscykeln för klorofyll ser annorlunda ut vid kuststationerna och i centrala Skagerrak jämfört med vid stationer i de inre fjordarna, se Fig. 24. Vid kusten och i utsjön finns en tydlig topp i mars och sedan en nedgång i klorofyll. I de inre fjordarna finns också en topp i mars men sedan är nedgången inte speciellt stor.

Tidsserierna för årsmedelvärden av klorofyll a (Fig. 25) visar på en nedåtgående trend ($p < 0,05$) under perioden 1991–2021 vid Björkholmen (inre Gullmarsfjorden), Koljöfjord (norr om Orust), Havstensfjorden och Byfjorden (nära Uddevalla). Pearson-korrelationer är dock svaga (R^2 0,2–0,4) eller obetydliga ($< 0,2$). Vid övriga provtagningsplatser noterades inga p-värden $< 0,05$.

Tidsserierna för somarmedelvärden (juni–augusti) av klorofyll a (Fig. 26) visar på en nedåtgående trend ($p < 0,05$) under perioden 1991–2021 för stationerna Byttelocket (nära Smögen), Stretudden (utanför Brofjorden), Björkholmen, Koljöfjord, Havstensfjord, Byfjorden, Galterö (nära Stenungsund), Valö (Askimsfjorden söder om Göteborg) och Å17 (centrala Skagerrak). Tidsserien för Å17 startar år 1999.

Chlorophyll a

monthly means 1991–2021 (error bars show sd)

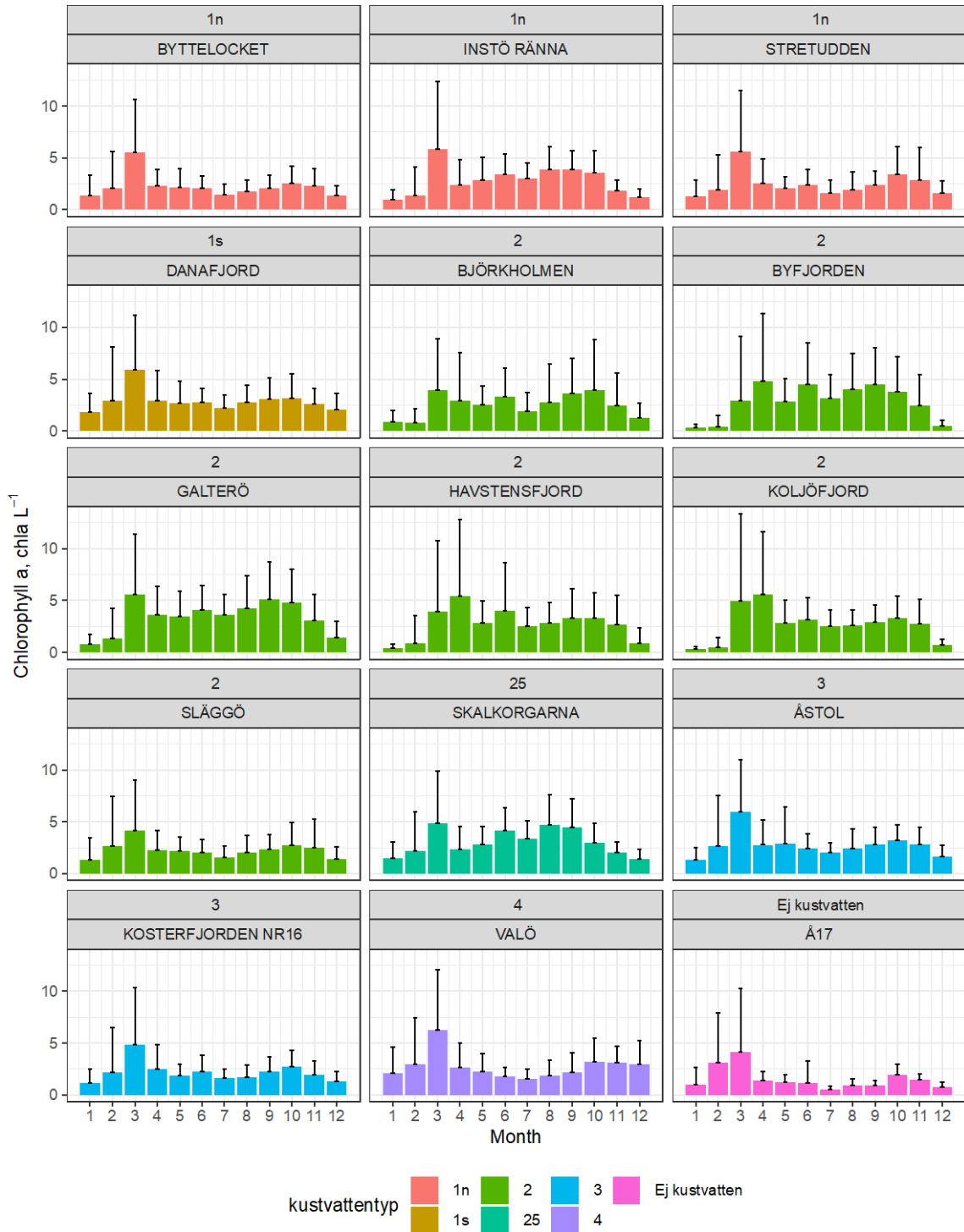


Fig. 24. Månadsmedelvärden för klorofyll a vid 14 stationer längs Västra Götalands kust samt vid station Å17 i centrala Skagerrak. Klorofyll a är ett grovt mått på växtplanktonbiomassa. Medelvärden (\pm standardavvikelse) för 0–10 m djup för perioden 1991–2021 visas.

Long term trends of chlorophyll a



Fig. 25. Tidsserie för årsmedelvärden för klorofyll a vid 14 stationer längs Västra Götalands kust samt vid station Å17 i centrala Skagerrak. Den blå linjen representerar korrelation beräknad med linjär regression. P-värden $< 0,05$ betraktas som signifikanta. R^2 värden ger ett mått på säkerhet, se material och metoder. Klorofyll a är ett grovt mått på växtplanktonbiomassa. Årsmedelvärden 0–10 m djup för perioden 1991–2021 visas.

Long term trends of chlorophyll a



Fig. 26. Tidsserie för sommarmedelvärden för klorofyll a vid 14 stationer längs Västra Götalands kust samt vid station Å17 i centrala Skagerrak. Den blå linjen representerar korrelation beräknad med linjär regression. P-värden <0,05 betraktas som signifikanta. R2 värden ger ett mått på säkerhet, se material och metoder. Klorofyll a är ett grovt mått på växtplanktonbiomassa. Sommarmedelvärden 0–10 m djup för juni–augusti för perioden 1991–2021 visas.

5.7 Siktdjup (Secchi djup)

Siktdjup (Secchi-djup) beror på en kombination av mängd växtplankton, mängd andra partiklar i vattnet (bl.a. suspenderat sediment) och vattnets CDOM-halt (CDOM = Coloured Dissolved Organic Matter, bl.a. humus). Ett högt siktdjup är en grov indikation på låg biomassa av växtplankton och vice versa. Tillfälliga förhållanden, t.ex. hård vind, kan göra att bottenmaterial virvlar upp och bidra till ett lågt siktdjup. Floder och åar som har skogsmark i avrinningsområdet bidrar ofta med mycket humus till kustvattnet. I Byfjorden och i Havstensfjorden är CDOM-halterna förhöjda (se diskussion).

Årscykel för siktdjup presenteras i Fig. 27. Högst siktdjup vid kusten (månadsmedelvärden 1991–2021) observerades i Kosterfjorden i april. Lågst siktdjup noterades vid Skalkorgarna utanför Göta Älvs mynning och vid Instö Ränna, som påverkas av Nordre Älv.

Tidsserier över siktdjup under sommartid (juni–augusti) presenteras i Fig. 28 och visar på en ökning av siktdjupet vid Släggö (Gullmarsfjorden) och i Koljöfjord (båda kustvattentyp 2, V) samt vid Byttelocket och Stretudden (kustvattentyp 1n, Västkustens inre kustvatten, norra). Vid Instö Ränna i samma kustvattentyp noteras ingen trend och inte heller vid Danafjord (kustvattentyp 1s, Västkustens inre kustvatten, södra) eller vid Valö (Västkustens yttre kustvatten, Kattegatt) och inte heller vid stationerna Kosterfjorden och Åstol (Västkustens yttre kustvatten, Skagerrak). Vid station Å17 i centrala Skagerrak finns ingen signifikant trend. Denna station provtas ofta nattetid eller när solen står lågt, då går det inte att mäta siktdjup.

Secchi

monthly means 1991–2021 (error bars show sd)

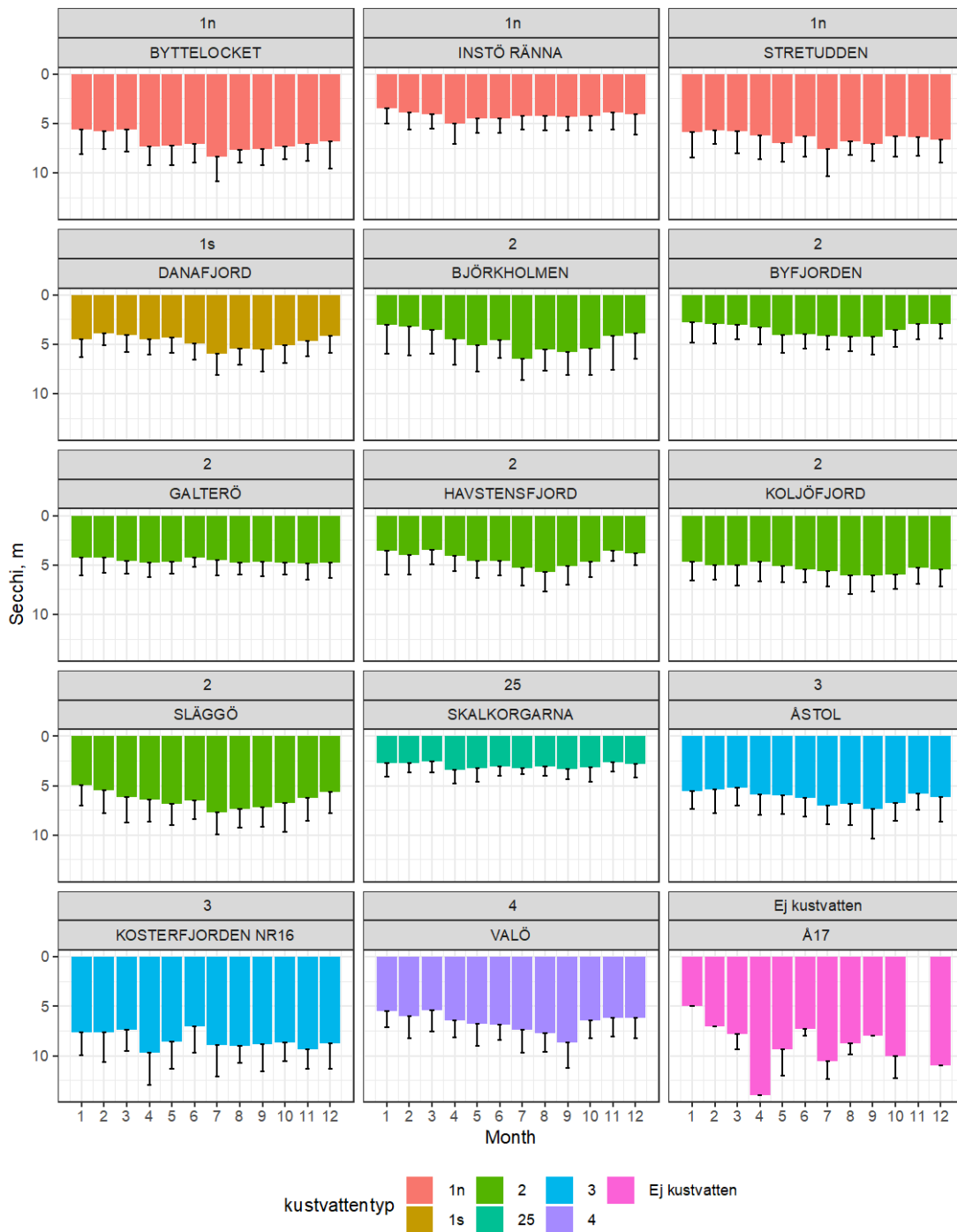


Fig. 27. Månadsmedelvärden för siktdjup vid 14 stationer längs Västra Götalands kust samt vid station Å17 i centrala Skagerrak. Siktdjup beror på en kombination av mängd växtplankton, mängd andra partiklar (bl.a. suspenderat sediment) och vattnets CDOM-halt (CDOM = Coloured Dissolved Organic Matter, bl.a. humus). Medelvärden (\pm en standardavvikelse) för 0–10 m djup för perioden 1991–2021 visas. Notera att antal mätningar vid Å17 är lägre än på andra stationer. Stationen besöks ofta när det är mörkt eller när solen står lågt vilket omöjliggör siktdjupsbestämning.

Long term trends of Secchi depth



Fig. 28. Tidsserie för sommarmedelvärden för siktdjup vid 14 stationer längs Västra Götalands kust samt vid station Å17 i centrala Skagerrak. Den blå linjen representerar korrelation beräknad med linjär regression. P-värden <0,05 betraktas som signifikanta. R² värden ger ett mått på osäkerhet, se material och metoder. Siktdjup beror på en kombination av mängd växtplankton, mängd andra partiklar (bl.a. suspenderat sediment) och vattnets CDOM-halt (CDOM = Coloured Dissolved Organic Matter, bl.a. humus). Sommarmedelvärden 0–10 m djup för juni–augusti för perioden 1991–2021 visas. Station Å17 besöks ofta nattetid eller när solen står lågt. Då kan siktdjup inte mätas.

5.8 Biodiversitet

Analyserna av biodiversitet har baserats på antal celler per liter. Biodiversiteten får betraktas som hög med ett stort antal arter tillhörande 195 släkten. Vi har valt att undersöka förändringar i tid på den taxonomiska nivån släkte (genus). Anledningen är att vi betraktar identifiering av släkten säker medan identifiering till art ibland är mer svårbedömd.

Diversiteten är relativt hög med medelvärden mellan ungefär 18–24 observerade släkten för varje station, Fig. 29. Stationen Danafjord har generellt högre antal observerade släkten. Antalet observerade släkten varierar under året med lägst antal släkten under vår och emellanåt mitt på sommaren och högst under hösten och vintern för de flesta stationerna, Fig. 30.

Tidsserieanalys med linjär regression på antal observerade släkten av växtplankton samt med uträknat Shannons diversitetsindex visar en generell linjär uppåtgående trend, d.v.s. att diversiteten ökar med tiden, Fig. 31 och Fig. 32.

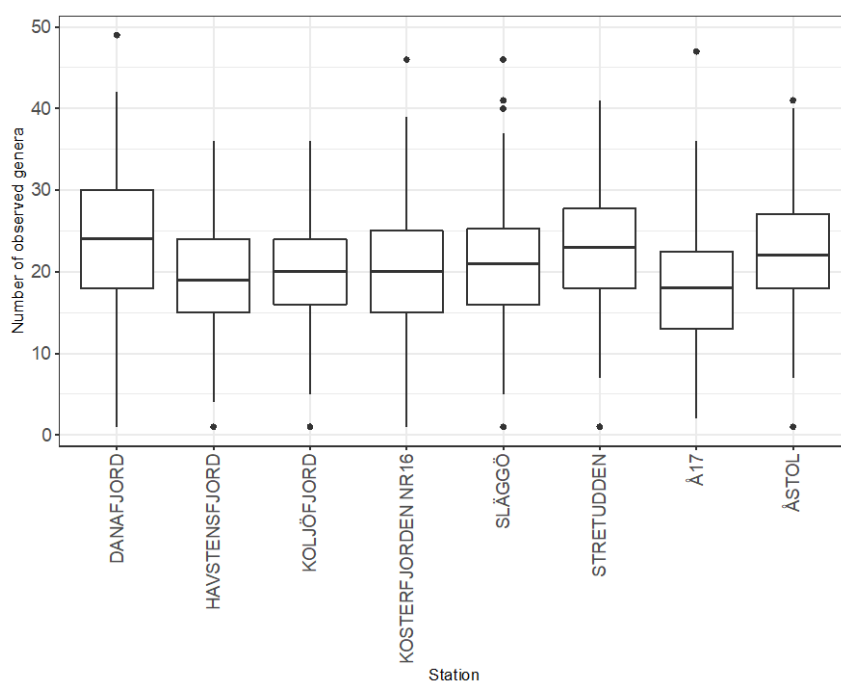


Fig. 29. Box and whisker diagram som visar variationen för antal observerade släkten för hela perioden på 8 utvalda stationer. Heldragen horisontell linje visar medianvärde, horisontella linjer över och under medianvärdet visar övre (75 %) respektive undre (25 %) kvartilen och det vertikala strecket visar det maximala och minimala värdet. Punkter visar extremvärden eller s.k. outliers.

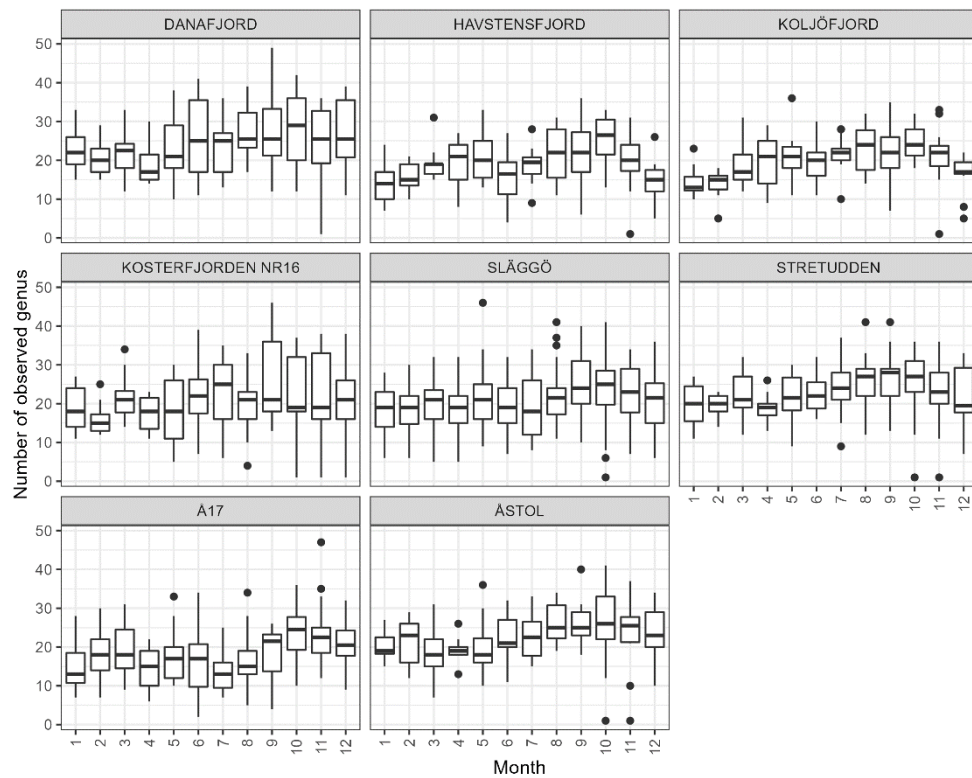


Fig. 30. Box and whisker diagram som visar årscykeln för antal observerade släkten över hela perioden på 8 utvalda stationer. Heldragen horisontell linje visar medianvärde, horisontella linjer över och under medianvärdet visar övre (75 %) respektive undre (25 %) kvartilen och det vertikala strecket visar det maximala och minimala värdet. Punkter visar extremvärden eller s.k. outliers.

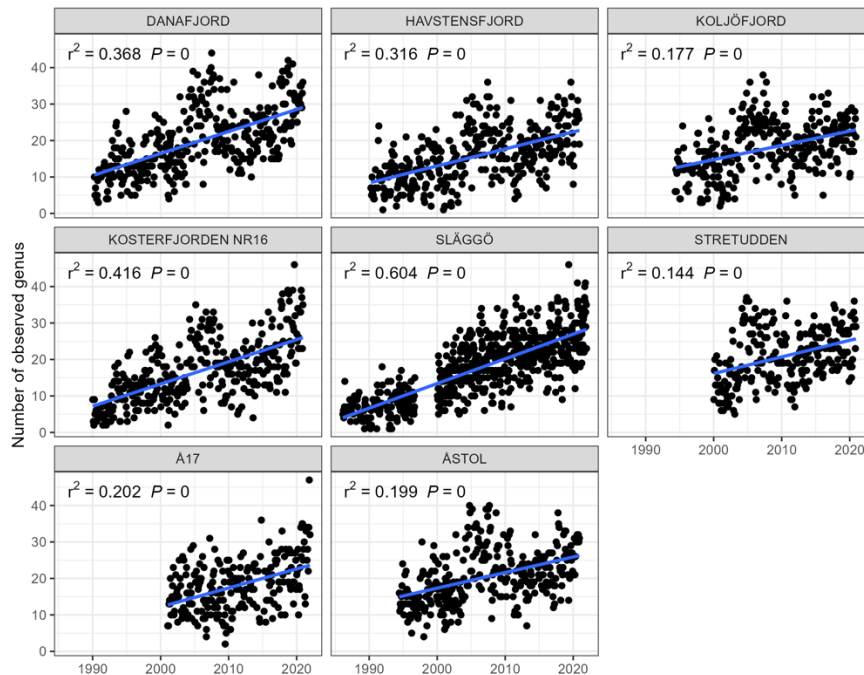


Fig. 31. Biodiversitet. Tidsserier som visar antal observerade släkten av växtplankton.

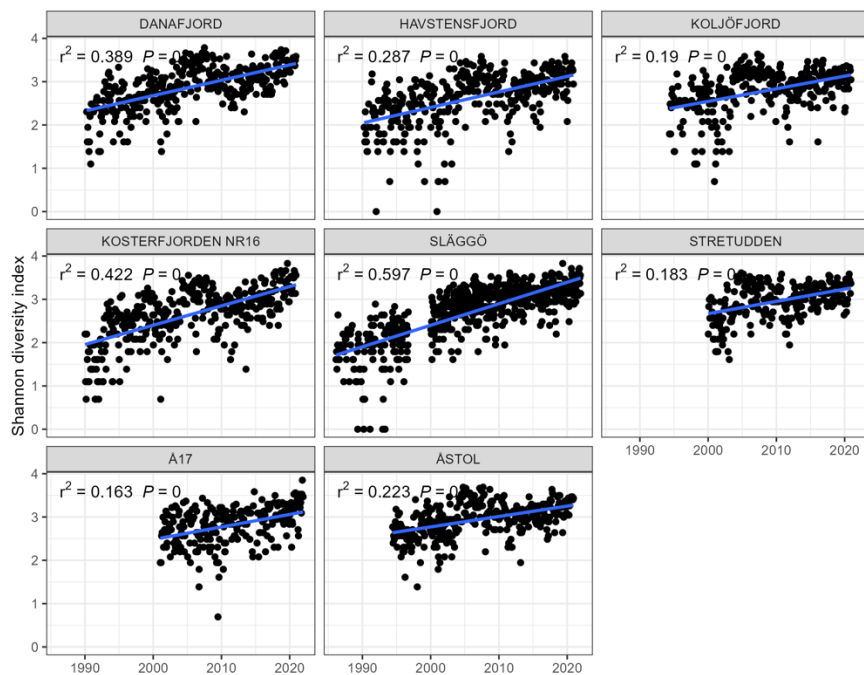


Fig. 32. Biodiversitet. Tidsserier för Shannons diversitetsindex baserat på observerade släkten av växtplankton och inkluderar skillnader i cellantal.

För betadiversitet (biodiversitet jämförd mellan olika lokaler) så har variationen mellan planktonsamhällen utvärderats och analyserats med en multivariat ordinansmetod, så kallad non-metric multidimensional scaling,

Fig. 33. En ordinansmetod som nMDS (icke-metrisk dimensionsreduktion) hjälper oss att visa och jämföra hur likheter och skillnader mellan olika saker, som till exempel arter i olika miljöer, kan representeras på en enklare och överskådlig karta. En ordinansanalys av betadiversitet, d.v.s. skillnaden mellan planktonsamhällen baserat på olika släkter (genus) för olika stationer visar att samhällen i stora drag är relativt lika varandra med vissa undantag där t.ex. utsjöstationer och stationer från västkustens fjordar tenderar att vara mer skilda från övriga stationer. Samma analys men för olika säsonger visar i princip samma tendens, d.v.s. relativt lika planktonsamhällen men att utsjöstationer och fjordar har en större variation i planktonsamhället jämfört med andra typer av stationer.

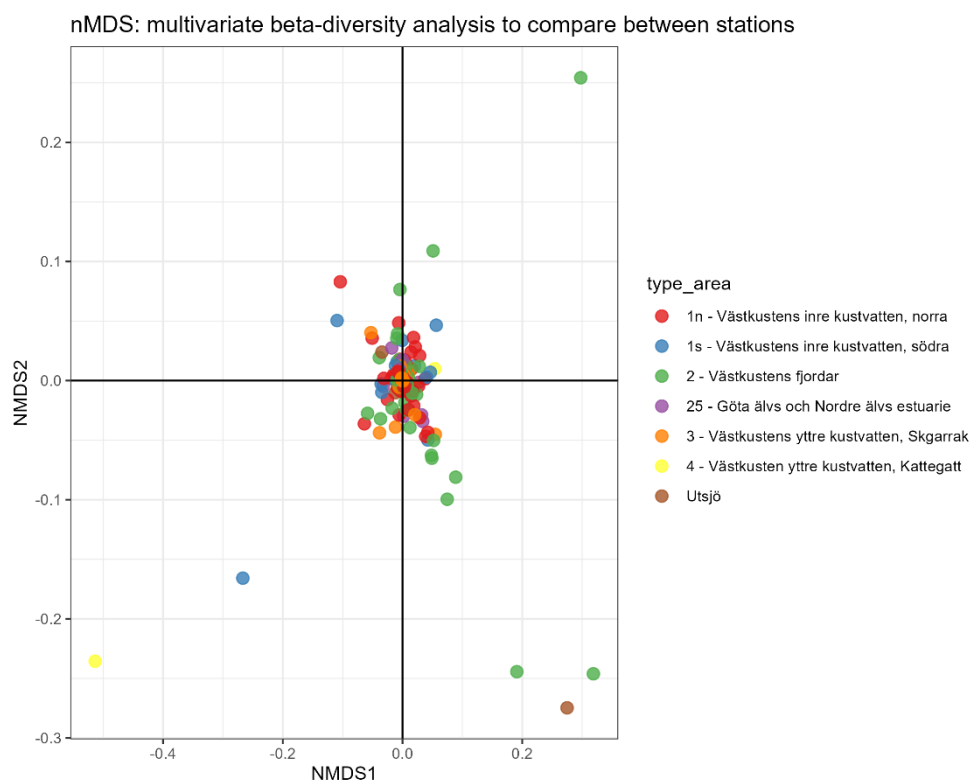


Fig.33. En non-metric multidimensional scaling ordinansanalys (Betadiversitet) som visar skillnader mellan olika planktonsamhällen baserat på data från släkter (genus). Färgerna indikerar typområden. Avståndet mellan punkter kan liknas vid en karta som bygger på en tabell med parvisa avstånd mellan städer, skillnaden mellan t.ex. Göteborg och Stockholm och Malmö och Stockholm där punkter placeras ut beroende på deras avstånd. Punkter för planktonsamhällen som ligger långt från varandra har därmed större skillnader i samhällsstrukturen.

En multivariat statistisk analys visar att temperatur styr variationen mellan planktonsamhällen men förklarar endast en liten del av variationen (PermANOVA, $p < 0,05$, $R^2 = 0,05$). Inga övriga uppmätta miljövariabler, t.ex. salinitet och närsalter förklarar variationen i planktonsamhället. När analysen görs på endast sommaren (juni–augusti) så visar samma multivariata analys att skillnader de senaste 10 åren pekar på att temperaturskillnader är viktigare på sommaren och styr planktonsamhället där en större del av variationen förklaras av temperatur (PermANOVA, $p < 0,001$, $R^2 =$

0,25). En djupgående analys visar att det finns linjära trender för specifika släkten där temperatur förklarar en del av variationen i biomassa i kol för t.ex. Skeletonema (Linjär regression, $p < 0,05$, $r^2 = 0,16$) och Pseudo-nitzschia (Linjär regression, $p < 0,05$, $r^2 = 0,31$), här exemplifierat för stationer i typområdet Västkustens fjordar, Fig. 34.

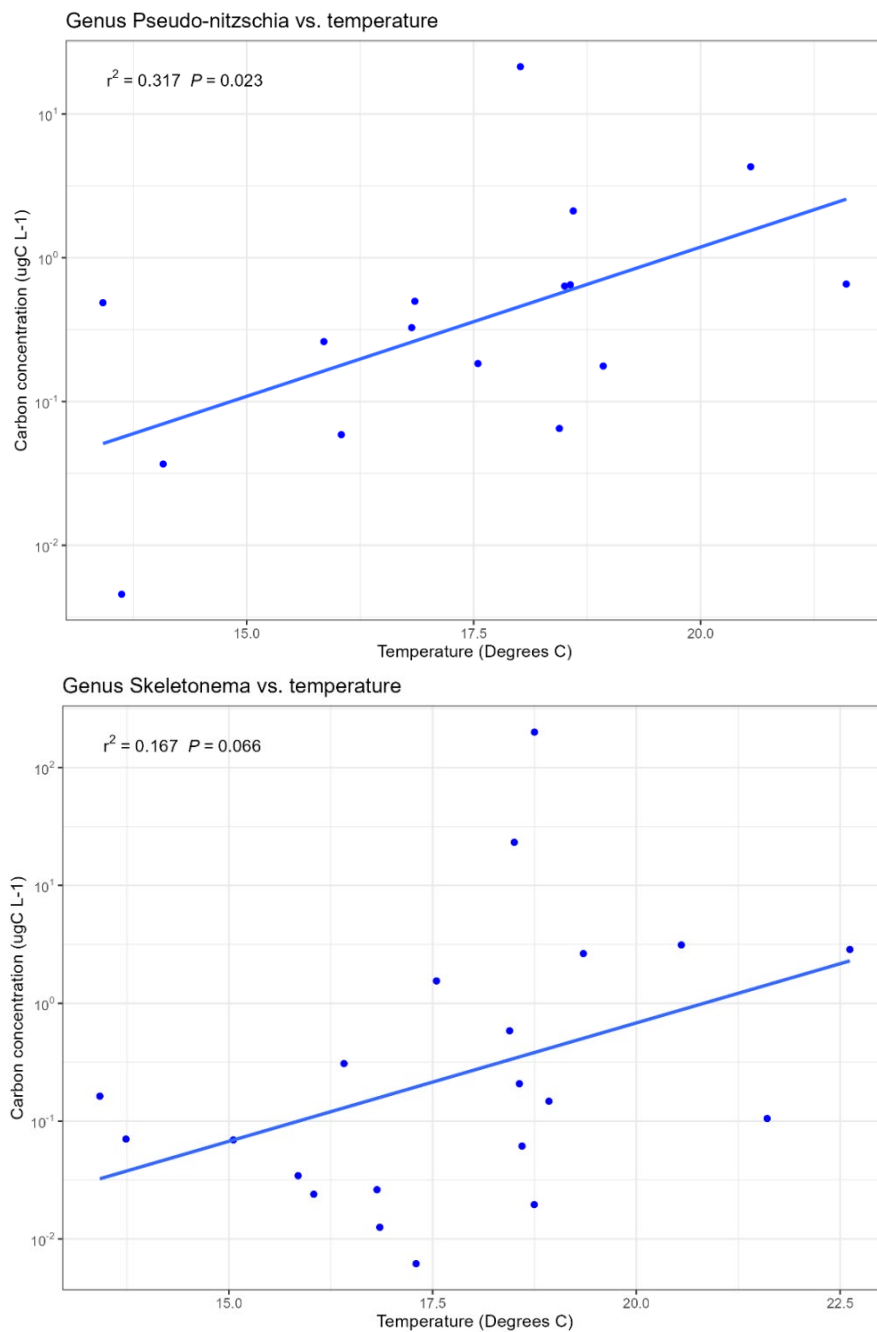


Fig. 34. Linjär regressionsanalys för variation i biomassa i kol mot variationen i temperatur för släktet Pseudo-nitzschia och Skeletonema under sommarmånader (juni–augusti) för stationer i typområdet Västkustens fjordar. Blå linje visar linjär trend och signifikans samt r^2 värdet syns i övre vänstra hörnet.

5.9 Nyttillkomna arter

I denna rapport lyfter vi fram några arter och släkten av växtplankton som är nya observationer i det undersökta området, Fig. 35. Det kan inte uteslutas att dessa växtplankton förekommit förut men varit mycket sällsynta.

Pseudochattonella (Dictyochophyceae), *Fibrocapsa japonica* (Raphidophyceae) och *Dinophysis tripos* (Dinophyceae) behandlas under avsnittet skadliga alger.

Kiselalger

Kiselalgen *Pseudosolenia calcar-avis* noterades första gången år 2007. Det var i Danafjord utanför Göteborg. Sedan år 2009 har arten blivit vanligt förekommande. Det finns uppgifter om att *P. calcar-avis* förekommit i området innan 1986. *P. calcar-avis* är en stor kiselalg med en längd upp till 600 µm (0,6 mm) och en diameter på upp till 60 µm.

Chaetoceros cf. peruvianus är en kedjebildande kiselalg med kraftiga spröt (setae). Den identifierades först som *Chaetoceros cf. convolutus*. Norska forskare har preliminärt identifierat arten som finns i Skagerrak till *Chaetoceros cf. peruvianus*. Arten noterades första gången 1994. År 2009 förekom den i höga cellantal. Från år 2016 förekommer arten varje år. Arten kan eventuellt orsaka skador på fiskars gälar, ett potentiellt problem, för fiskodlingar.

Dinoflagellater

Alexandrium pseudogonyaulax noterades första gången år 2003 och är vanligt förekommande sommartid från år 2011. *A. pseudogonyaulax* producerar ett alggift med namnet goniiodomin. Goniiodomin är inte ett av de alggifter som regleras av EU. *A. pseudogonyaulax* producerar inte saxitoxiner, ofta kallade paralyserande skaldjursgifter (Paralytic Shellfish Toxins), vilket många andra *Alexandrium*-arter gör.

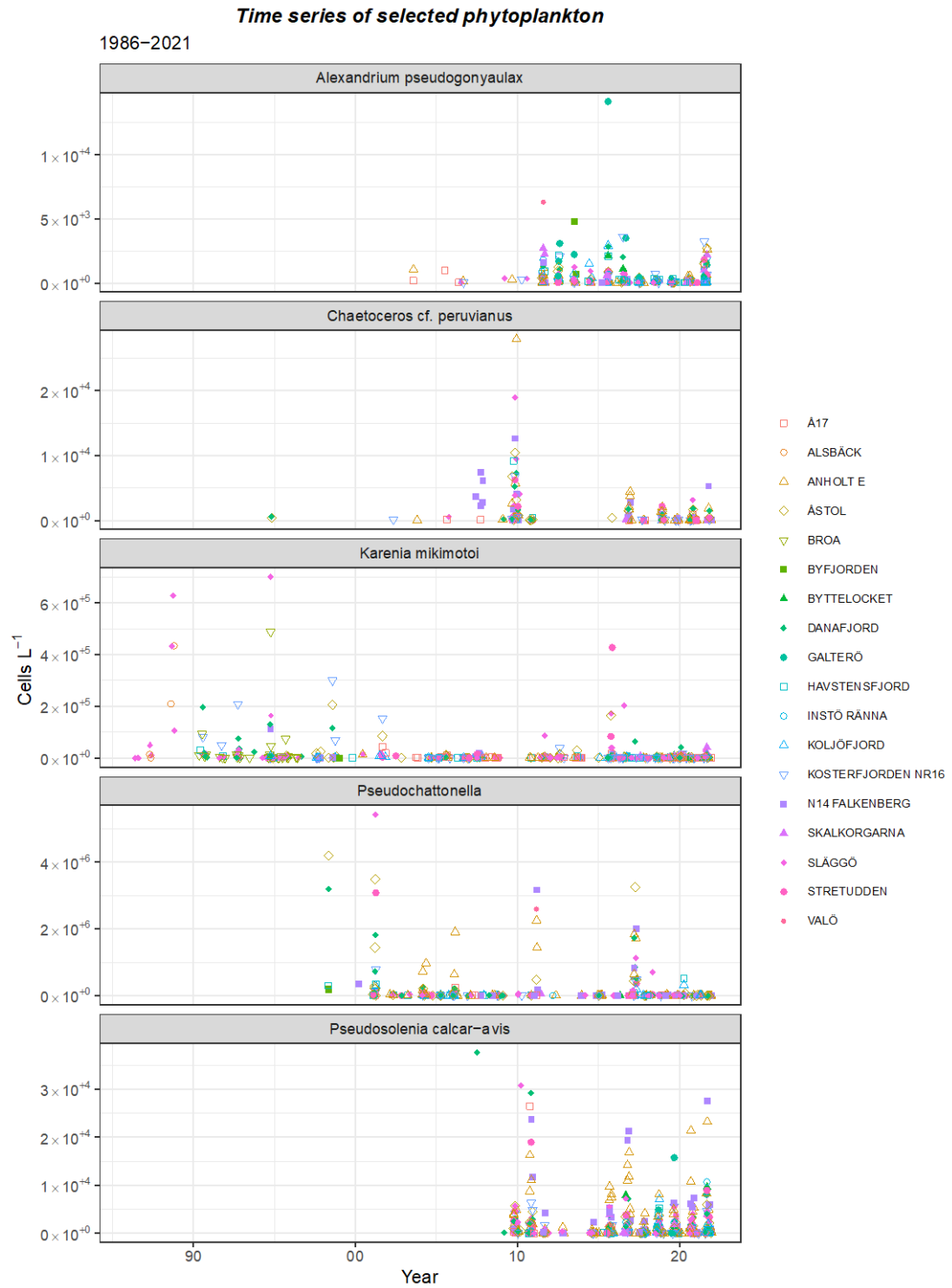


Fig. 35. Tidsserier som visar cellantal per liter för några utvalda arter och släkten av växtplankton.

5.10 Förekomst av skadliga alger i området

Fyra huvudtyper av skadliga alger förekommer i området: (1) mikroalger som producerar alggifter som kan ansamlas i musslor och ostron, (2) arter om orsakar fiskdöd, (3) arter som påverkar hela ekosystemet och (4) vissa cyanobakterier (Karlson et al., 2021). Tidsserier gällande förekomst av skadliga alger finns främst i Fig. 38 och Fig. 39, några presenteras i Fig. 35. I tabell 5 listas de viktigaste släktena och arterna. Dessutom förekommer bottenlevande mikroalger som producerar alggifter på makrovegetation som ålgräs eller tång (Álvarez et al., 2022). Det finns ingen övervakning av bottenlevande mikroalger i Sverige vilket innebär att eventuella långtidstrender är okända. Kraftiga ansamlingar av arter om inte är giftiga kan uppfattas som störande, t.ex. när *Noctiluca scintillans* förekommer i riklig mängd, vilket var fallet senhösten 2020, Fig. 36 och Fig. 37. *N. scintillans* är en encellig organism, ett mikrozooplankton, som livnär sig av att äta bl.a. växtplankton. Den är den mest kända av ett antal arter som orsakar mareld.

Tabell 5. Vanligt förekommande släkten och arter av skadliga alger som förekommer i Kattegatt-Skagerrak. Det finns fler skadliga alger som potentiellt kan ställa till problem.

Släkte	Arter	Typ av skadlighet	Algtoxin
<i>Alexandrium</i>	<i>A. tamarense</i> <i>A. minutum</i> <i>A. ostenfeldii</i>	Orsakar paralyserande skaldjursförgiftning (PSP). Alggifter ansamlas i bl.a. musslor och ostron.	Saxitoxiner, PST (Paralytic Shellfish Toxins)
<i>Dinophysis</i>	<i>D. acuminata</i> <i>D. acuta</i> <i>D. norvegica</i> <i>D. tripos</i>	Orsakar diarré skaldjursförgiftning (DSP). Även cancerframkallande. Alggifter ansamlas i bl.a. musslor och ostron.	Okadasyra DTX1 DTX2 DTX3 m.m.
<i>Pseudo-nitzschia</i>	Många arter inom släktet producerar domorinsyra	Orsakar minnesförlust – skaldjursförgiftning (ASP). Alggifter ansamlas i bl.a. musslor och ostron.	Domorinsyra, AST (Amnesic Shellfish Toxin)
<i>Azadinium</i>	<i>A. spinosum</i> många andra arter inom släktet	Orsakar diarré skaldjursförgiftning (AZP) Alggifter ansamlas i bl.a. musslor och ostron.	Azaspiracider, AZA
<i>Lingulodinium</i> <i>Protoceratium</i>	<i>L. polyedra</i> <i>P. reticulatum</i>	YTX har låg påverkan på människor, hög på möss.	Yessotoxiner, YTX
<i>Pseudochattonella</i>	<i>P. verruculosa</i> <i>P. farcimen</i>	Orsakar fiskdöd	
<i>Chrysochromulina</i>	<i>C. leadbeateri</i> och flera andra arter	Orsakar fiskdöd	
<i>Prymnesium</i>	<i>P. polylepis</i> och flera andra arter	Orsakar fiskdöd (bl.a. <i>Prymnesium parvum</i>) <i>P. polylepis</i> kan skada hela ekosystem	
<i>Dictyocha/Octactis/Vicicitus</i>		Orsakar fiskdöd	
<i>Nodularia*</i>	<i>N. spumigena</i>	Giftig för bl.a. människor	Nodularin, ett hepatotoxin

*Släktet är sällsynt vid Västra Götalands kust. Dessa cyanobakterier transporteras vissa somrar till området från Östersjön med havsströmmar.



Fig. 36. Till vänster: En ansamling av mareldsdjuret *Noctiluca scintillans* i Hinsholmskilen, västra Göteborg, 16 december 2020. Foto: Mia Dahlström. Till höger: *Noctiluca scintillans*, foto: Bengt Karlson.

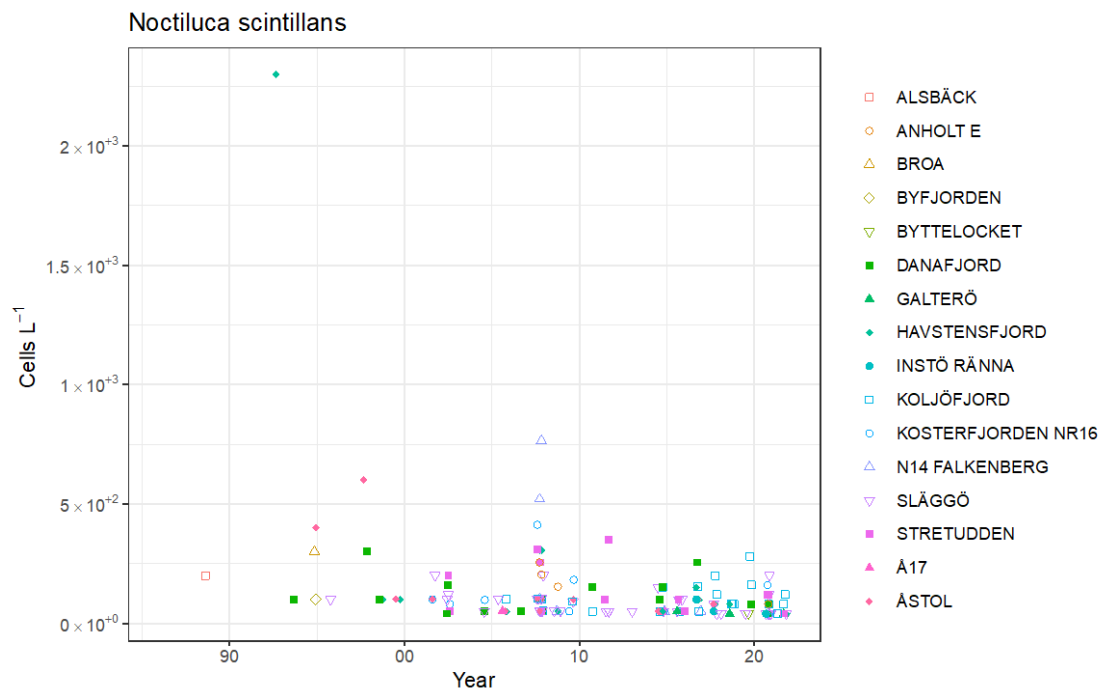


Fig. 37. Tidsserie gällande *Noctiluca scintillans*, cellantal per liter, 1991–2021.

Livsmedelsverket stänger i stort sett varje år skördeområden för musslor och/eller ostron längs Västra Götalands kust för kortare eller längre perioder på grund av alggifter. EU-gränsvärden för alggifter i musselkött tillämpas. Förekomst av algtoxinerproducerande alger används också som beslutsunderlag. Livsmedelsverket har fastställt varningsgränser, tabell 6. Det finns i stort sett inga fiskodlingar längs Västra Götalands kust. Om de hade funnit så hade de sannolikt drabbats av algblomningar som orsakar fiskdöd. Vild fisk drabbas sällan, de simmar helt enkelt bort från skadliga algblomningar.

Tabell 6. Varningsgränser gällande cellantal för växtplankton som producerar alggifter som ansamlas i musslor och ostron. PST = Paralytic Shellfish Toxins, AZA = Azaspiracid Shellfish Toxins, DST = Diarrhetic Shellfish Toxins, YTX = Yessotoxins, AST = Amnesic Shellfish Toxins.

PST <i>Alexandrium</i> spp. *(200 celler/liter**)
PST <i>Alexandrium minutum</i> *(200 celler/liter**)
PST <i>Alexandrium ostenfeldii</i> *(200 celler/liter**)
AZA <i>Azadinium</i> spp.
DST <i>Dinophysis acuminata</i> *(1500 celler/liter)
DST <i>Dinophysis acuta</i> *(200 celler/liter**)
DST <i>Dinophysis norvegica</i> *(4000 celler/liter)
DST <i>Phalacroma rotundatum</i> *(1500 celler/liter)
DST <i>Dinophysis tripos</i>
YTX <i>Gonyaulax spinifera</i>
YTX <i>Lingulodinium polyedra</i>
YTX <i>Protoceratium reticulatum</i> *(1000 celler/liter)
AST <i>Pseudo-nitzschia</i> spp. *(100 000 celler/liter)
AST <i>Pseudo-nitzschia seriata</i> *(100 000 celler/liter)

*= Varningsgränser för respektive potentiellt toxiska art. **=100 celler/l under 3 veckor

Dinophysis-arter producerar okadasyra och några andra alggifter som kan ansamlas i musslor och ostron. Samlingsnamnet DST (Diarrhetic Shellfish Toxins) används ofta. På engelska heter sjukdomstillståndet som DST resulterar i Diarrhetic Shellfish Poisoning (DSP). Livsmedelsverket tillämpar EU-gränsvärdet för DST på 160 µg kg⁻¹ musselkött. Livsmedelsverket har också fastställt varningsgränser för cellantal per liter av de arter som producerar DST (Persson et al., 2020). Tidsserier gällande förekomst av *Dinophysis* presenteras i Fig. 38. *D. acuta* är störst och har högst toxinhalt per cell. Varningsgränsen ligger på 100–200 celler per liter. Arten observeras framförallt på hösten. Under några år på 2010-talet saknades arten och då var halterna av okadasyra i musslor lägre än annars. År 2022 var arten åter vanlig. *D. acuminata* (varningsgräns 1500 celler L⁻¹) har några år varit talrik på sommaren vilket resulterat i stängning av skördeområden för musslor. *D. norvegica* (varningsgräns 4000 celler L⁻¹) ställer också till problem ibland. En ny art för området är *D. tripos* (varningsgräns ej fastställd). Den har blivit vanlig från år 2014, se Fig. 38.

De flesta arterna inom släktet *Alexandrium* (Dinophyceae) producerar saxitoxiner som ansamlas i musslor och ostron och orsakar paralyserande skaldjurs förgiftning (Paralytic Shellfish Poisoning) PSP. EU-gränsvärdet är 800 µg kg⁻¹ musselkött. Det är främst *A. tamarense* och *A. minutum* som orsakar problem vid musselodlingar vid Västra Götalands kust. Vårarna 2014, 2016 och 2017 var halterna av paralyserande skaldjursgifter över gränsvärdet och Livsmedelsverket stoppade skörd i aktuella områden. Varningsgränsen för förekomst av *Alexandrium* i vattnet är 100–200 celler per liter.

Dinoflagellaterna *Lingulodinium polyedra*, *Protoceratium reticulatum* och *Gonyaulax spinifera* producerar yessotoxiner (YTX). Vid mustester ger YTX liknande effekter som DST men på människor har YTX liten effekt. Fram till år 2011 låg EU-gränsvärdet för YTX på 1,0 mg kg⁻¹ musselkött. Sedan höjdes det till 3,75 mg kg⁻¹. Innan 2011 stängde Livsmedelverket ofta skördeområden för musslor p.g.a. YTX. Sedan gränsvärdet höjts händer de sällan eller aldrig.

Azapiracider (AZA) är alggifter som produceras av dinoflagellatsläktena *Azadinium* och *Amphidoma*. Längs Västra Götalands kust förekom AZA över gränsvärdet 160 µg kg⁻¹ musselkött vid årsskiftet 2018–2019.

Pseudo-nitzschia är långsmala, kedjebildande kiselalger (Bacillariophyceae). Många arter inom släktet producerar domorinsyra som orsakar Amnesic Shellfish Poisoning, skador på centrala nervsystemet, bl.a. minnesförlust (amnesi). EU-gränsvärdet är 20 mg kg⁻¹ musselkött. *Pseudo-nitzschia* är vanliga vid Västra Götalands kust och finns ibland i höga celltätheter med hundratusentals eller miljontals celler per liter. Toxininnehållet i *Pseudo-nitzschia* varierar. År 2016 stängde Livsmedelsverket skördeområden för musslor p.g.a. höga halter domorinsyra (Persson et al., 2020). Varningsgränsen för *Pseudo-nitzschia* är 100 000 celler L⁻¹. För trendserier av *Alexandrium*, *Azadinium*, *L. polyedra*, *P. reticulatum* samt *Pseudo-nitzschia*, se Fig. 39.

Det finns flera släkter av växtplankton som orsakar fiskdöd. *Fibrocapsa japonica* (Raphidophyceae) har observerats enstaka gånger vid svenska Västkusten. Bland dinoflagellater finns bl.a. *Karenia mikimotoi* (i Europa tidigare känd som *Gyrodinium aureolum*), *Karlodinium veneficum* och *Akashiwo sanguinea*. *K. mikimotoi* orsakade problem bl.a. på 1970- och 80-talen (Lindahl, 1983; Lindahl, 1986). Arten är relativt vanlig idag men författarna känner inte till några rapporter om fiskdöd i Sverige.

Inom algklassen Dictyochophyceae finns flera släkter som orsakar fiskdöd. Det viktigaste är *Pseudochattonella* som inte observerades i våra vatten innan år 1998. Då inträffade en större blomning på senvåren/försommaren och död hos vild fisk observerades, bl.a. av näbbgädda *Belone belone*. Nästa blomning skedde våren 2001. Sedan dess har blomningar av *Pseudochattonella* varit vanliga direkt efter vårbloomingen av kiselalger. År 2017 var *Pseudochattonella*-blomningen omfattande och fiskdöd noterades i fiskodlingar i den danska delen av Kattegatt.

År 1988 skedde en omfattande blomning av *Prymnesium polylepis* i Kattegatt-Skagerrak och i östra Nordsjön (Gjosaeter et al., 2000). Namnet *Chrysochromulina polylepis* användes då. Fiskdöd, död hos bottenlevande djur och makroalger var omfattande. *Chrysochromulina* och *Prymnesium* innehåller många arter som kan orsaka fiskdöd. Arterna är svåra att skilja åt med ljusmikroskop och räknas därför som ordningen Prymnesiales i miljöövervakningen. Prymnesiales är vanligt förekommande, ibland i höga celltätheter, men skador av dessa blomningar har inte rapporterats sedan 1988. För mer ingående beskrivning av skadliga släkter och arter, se tabell 5.

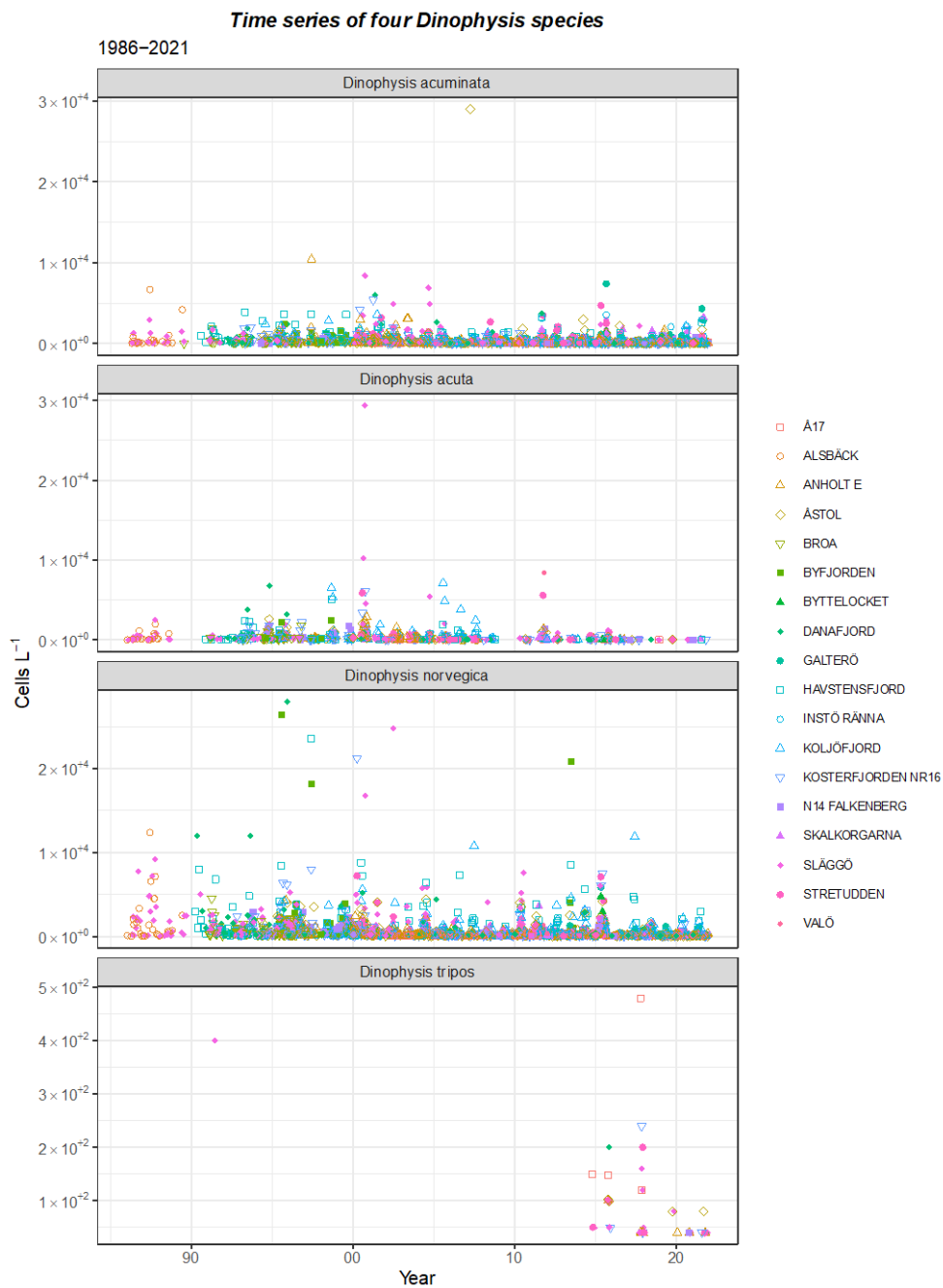


Fig. 38. Tidsserier som visar cellantal per liter för fyra *Dinophysis*-arter. *Dinophysis* producerar diarrégifter (Diarrhetic Shellfish Toxins). Notera att skalan för y-axeln varierar mellan de olika diagrammen.

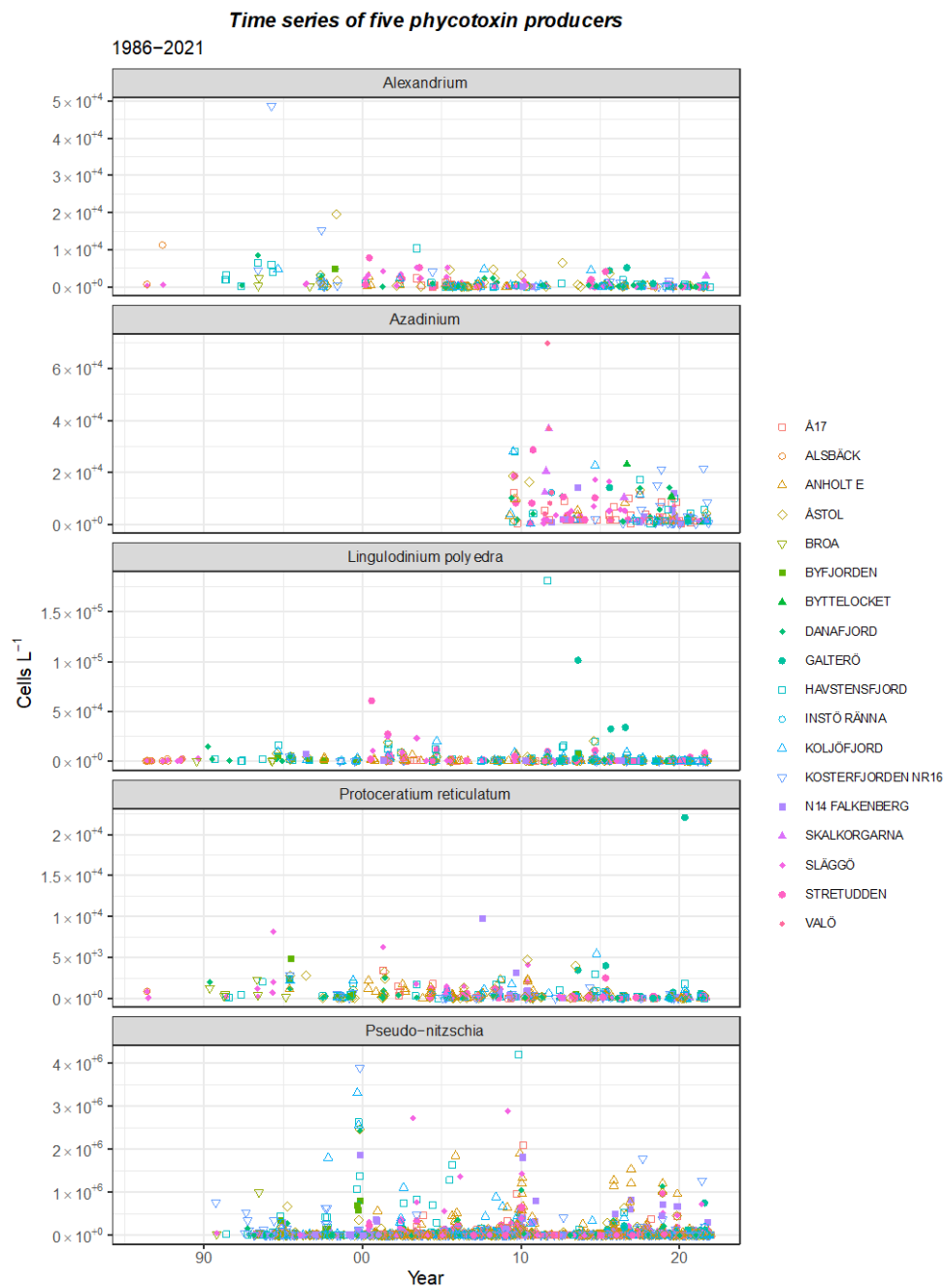


Fig. 39. Tidsserier som visar cellantal per liter för några utvalda arter och släkten av växtplankton som producerar alggifter som kan ansamlas t.ex. i musslor och ostron. Notera att skalan för y-axeln varierar mellan de olika diagrammen. Dinophysis presenteras i en separat figur.

5.11 Trender gällande fysiska och kemiska parametrar

På de platser där växtplanktonprovtagning skett har även fysiska och kemiska parametrar mätts. Dessa parametrar mäts även på några andra stationer. I bilaga 2 visas årscykeln i ytvattnet (0–10 m) för de viktigaste parametrarna.

Ytvattentemperatur och salthalt

En ökning ($p < 0,05$) av årsmedelvärden för ytvattentemperatur (0–10 m) under perioden 1991–2021 observeras vid alla stationer förutom Släggö och Å17 (Fig. 40). Måttligt höga Pearson korrelations-koefficienter ($R^2 > 0,4–0,6$) noteras för Havstensfjorden, Byfjorden och Galterö (vid Stenungsund). Där är ökningen ca 2°C . Vid övriga stationer är R^2 mellan 0,2–0,4, d.v.s. svaga. Ett undantag är Kosterfjorden nr16 där R^2 är 0,14, d.v.s. ingen ändring.

Ytvattentemperatur sommartid (juni–augusti) har ökat med ca $1–2^{\circ}\text{C}$ från 1991 till 2021, se Fig. 41. En signifikant ökning ($p < 0,05$) noteras vid alla stationer förutom Å17 i centrala Skagerrak, Byttelocket vid Smögen och Stretudden utanför Brofjorden.

Temperaturökningen får betraktas som dramatisk. Den är störst inomskärs.

Inga långtidsförändringar har noterats gällande salthalt.

Oorganiska närsalter

Vi har undersökt om det finns trender i tidsserier för närsaltkoncentrationer m.m. under vintermånaderna december–februari. Dessa månader har valts med tanke på att tillväxten av växtplankton är låg och därmed även förbrukningen av näringsämnen. Under vintern sker oftast en omblandning av vattenpelaren vilket innebär att näringsämnen från djupvattnet kommer till ytvattnet och blir tillgängliga för växtplankton. De näringsämnen som finns tillgängliga utgör en "pool" för vårblomningen. Senare under året när vattenmassan oftast är skiktad tillförs ytvattnet näringsämnen från land via floder, åar och bäckar samt understundom från djupvattnet när så kallad uppvällning sker. Uppvällning är en effekt av vinddriven transport av ytvattnet från kusten. När ytvattnet försvinner västerut fylls det på med näringsrikt djupvatten som bildar nytt ytvatten. Även regn tillför näringsämnen, men hur stort bidrag det ger är osäkert. I Fig. 42–44 presenteras data som medelvärden 0–10 m, d.v.s. samma djupintervall som för växtplanktonprovtagning.

Halter av oorganiskt kväve (DIN) under vintern, Fig. 42, minskar vid flertalet undersökta stationer under perioden 1991–2021. Signifikansen (p-värden) framgår i figuren. R^2 -värden visar på svaga eller måttliga korrelationer.

När det gäller vintervärden på löst oorganisk fosfor (DIP) observerades inga trender, Fig. 43. I Kosterfjorden var $p < 0,05$ men R^2 var lågt.

Silikathalter vintertid ökar i Byfjorden, Havstensfjorden och i Koljöfjord, Fig. 44. Kiselalger använder kisel för att bygga upp en speciell typ av cellvägg ("frustrule"). Förenklat kan man säga att kiselalger har skelett av kisel. Vid mycket låga koncentrationer kan silikat vara begränsande för kiselalgerna. Koncentrationerna av silikat vid Västra Götalands kust går ned sommartid men det är inte troligt att silikat är begränsande för kiselalgerna. En ökning av silikat-halter vintertid är sannolikt relaterad till ökad tillförsel från land.

Long term trends of temperature



Fig. 40. Ytvattentemperatur, årsmedelvärden för åren 1991–2021. Punkterna representerar medelvärden för mätningar alla månader respektive år. Linjär regression har använts för att anpassa linjer till värdena. P-värden <0,05 betraktas som signifikanta. R2 värden visas också (se material och metoder).

Long term trends of temperature

Jun. – Aug., 0–10 m depth

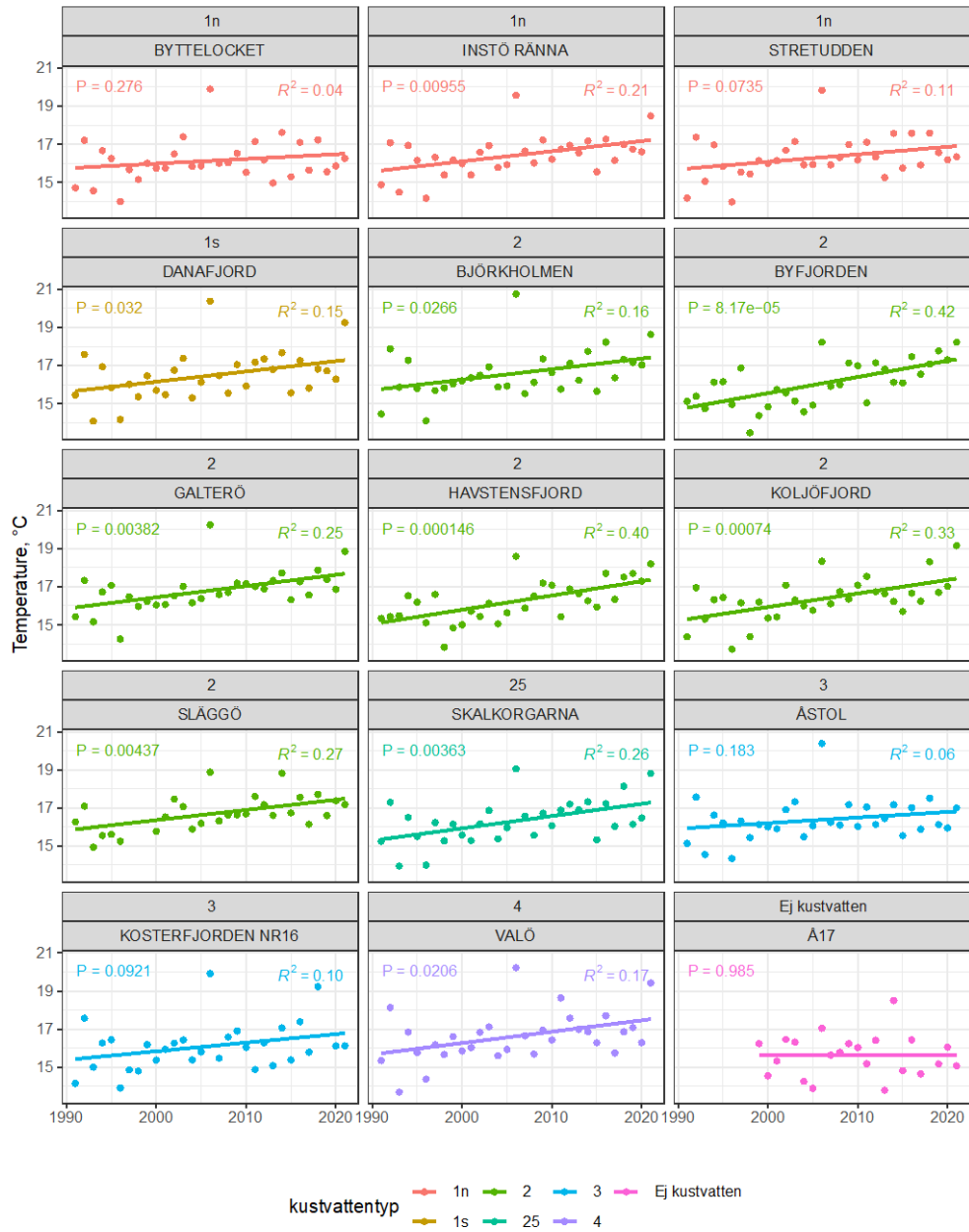


Fig. 41. Ytvattentemperatur sommartid för åren 1991–2021. Punkterna representerar medelvärden för mätningar i juni-augusti för respektive år. Linjär regression har använts för att anpassa linjer till värdena. P-värden <0,05 betraktas som signifikanta. R2 värden visas också (se material och metoder).

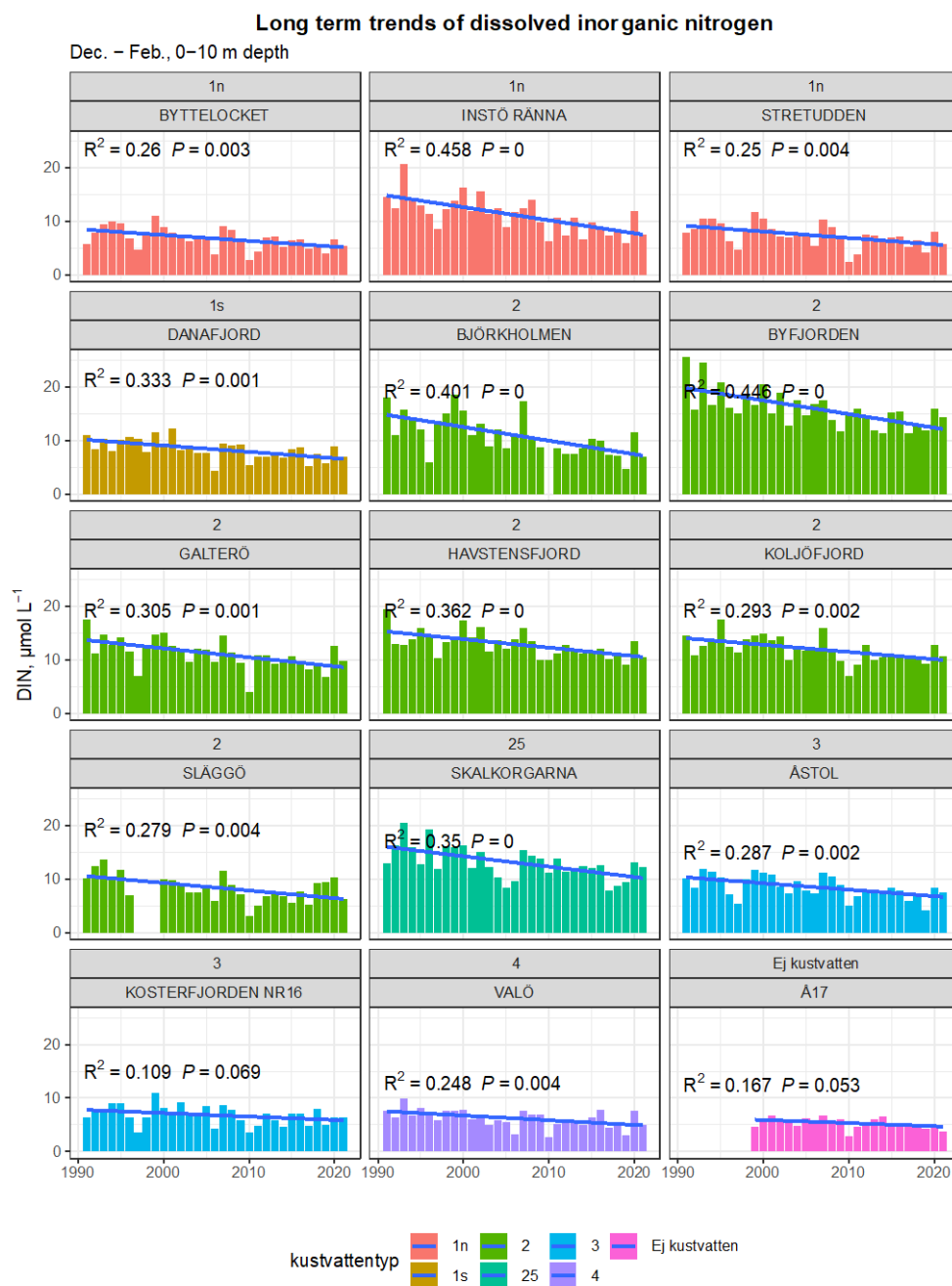


Fig. 42. Koncentration av löst oorganiskt kväve (DIN Dissolved Inorganic Nitrogen), d.v.s. summan av nitrat, nitrit och ammonium, för åren 1991–2021. Staplarna representerar medelvärden för mätningar i december, januari och februari för respektive år. Linjär regression har använts för att anpassa den blå linjen till värdena. P-värden <0,05 betraktas som signifikanta. R2 värden visas också (se material och metoder).

Long term trends of dissolved phosphate

Dec. – Feb., 0–10 m depth

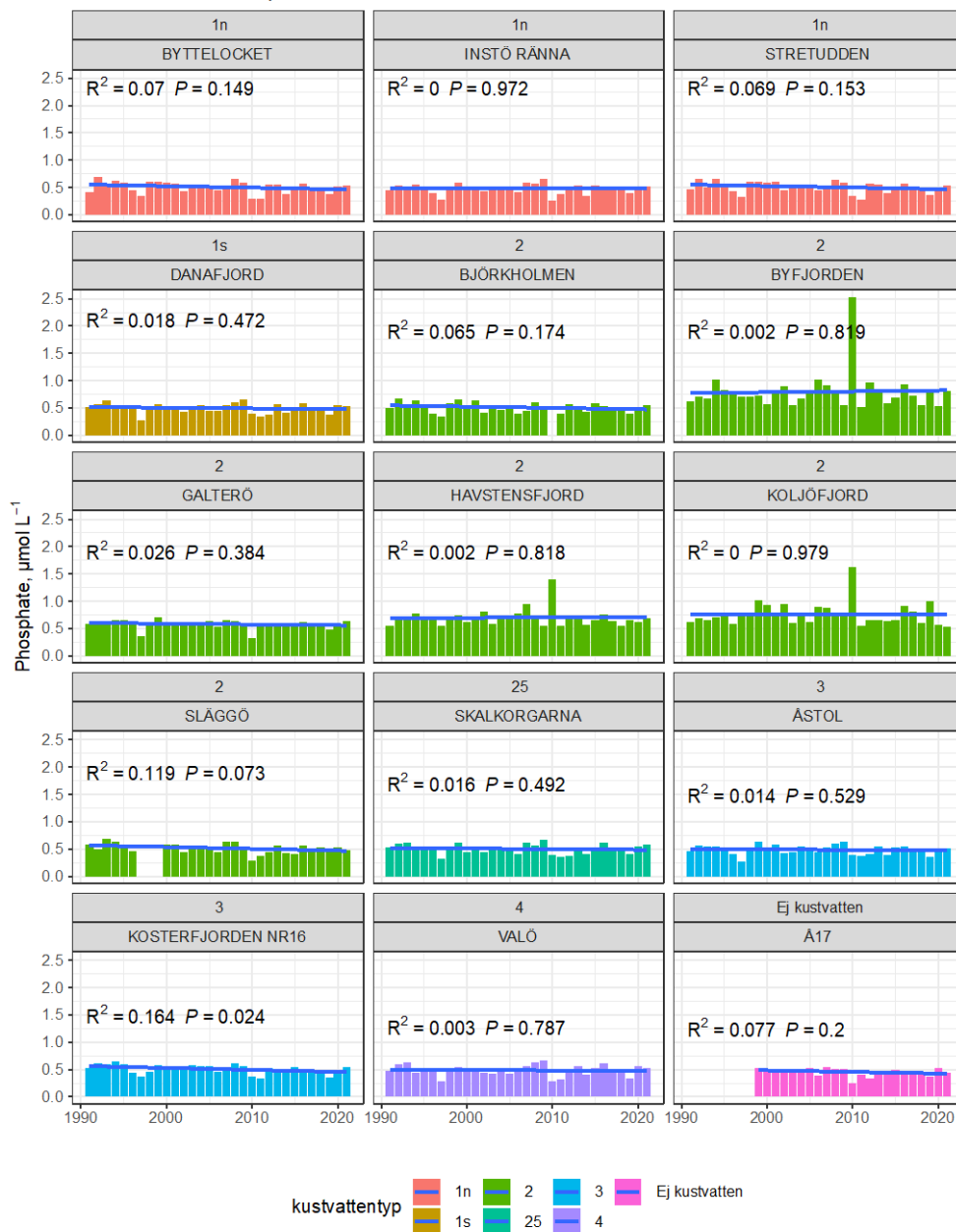


Fig. 43. Koncentration av löst organisk fosfat (DIP Dissolved Inorganic Phosphate), se figur 42 för detaljer.

Long term trends of dissolved silicate

Means Dec. – Feb., 0–10 m depth

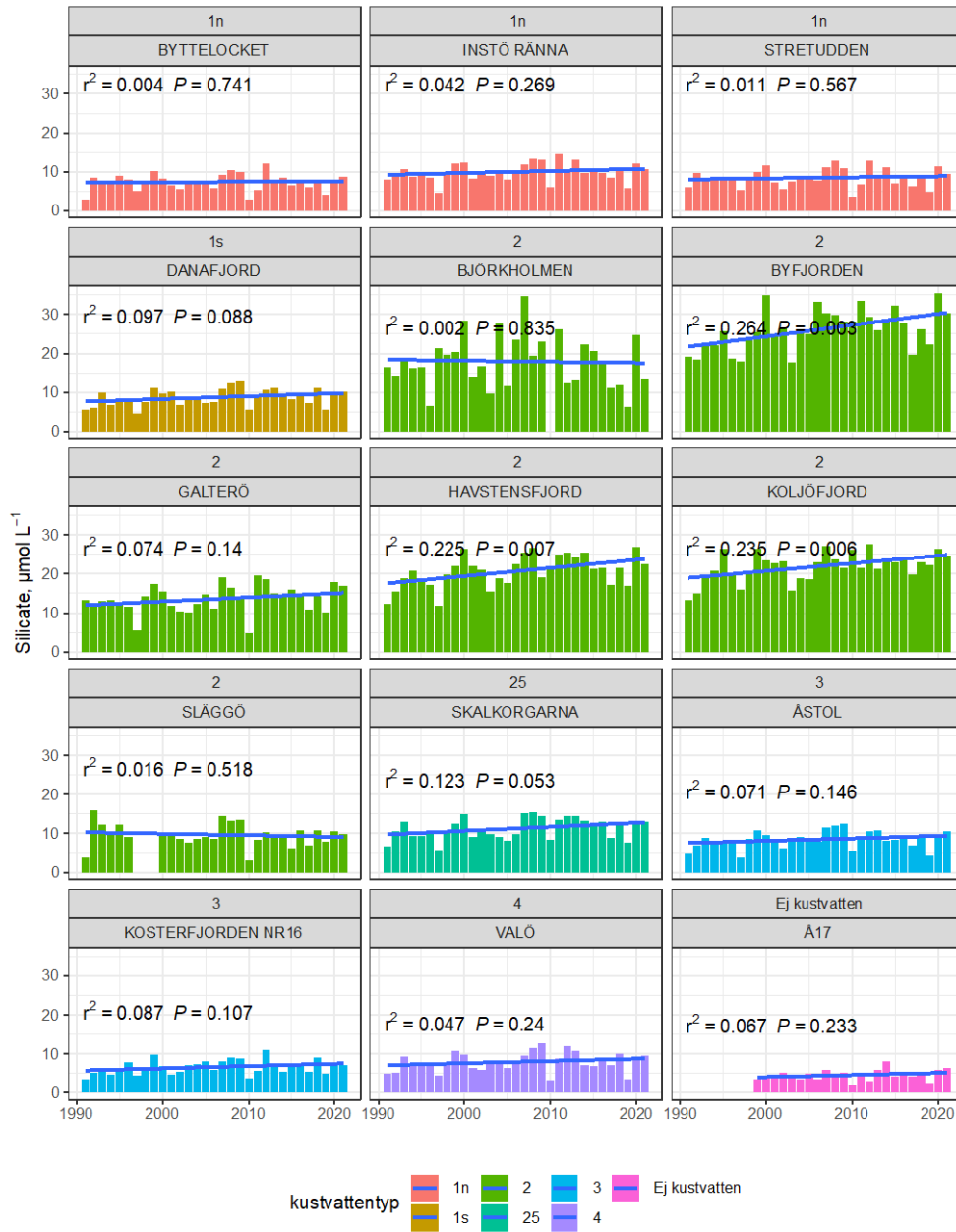


Fig. 44. Koncentration av löst kisel (silikat), se figur 42 för detaljer.

4 En översikt av metoder för att utveckla växtplanktonövervakningen

4.1 eDNA-streckkodning och qPCR

För att undersöka biodiversitet kan molekylärbiologiska metoder användas i tillägg till mikroskopanalys av växtplanktonprover. Det finns väl utvecklad metodik för att använda gener för att identifiera encelliga och kolonibildande plankton till art eller släktesnivå (Hu et al., 2016). Metodiken benämns ofta eDNA eller DNA-streckkodning. På engelska används ofta begreppen metabarcoding eller High Throughput Sequencing. Inom det pågående projektet *DNA-streckkodning av marina växtplankton*, som finansieras av HaV och Naturvårdsverket, har en övervakningsmanual tagits fram (Hedblom et al., Inskickad till HaV 2022). Det har även tagits fram nordiska riktlinjer (Jerney et al., 2023). En fördel med metoden är att den inte är beroende av mikroskopisters kunskap om att identifiera arter. Kostnaden per prov är relativt låg om många prover analyseras. En nackdel är att många arter från svenska vatten saknas i referensdatabaser än så länge. En annan nackdel är att metoden inte ger information om celler per liter eller biomassa. Kompetens om växtplanktontaxonomi och -systematik samt bioinformatik behövs för att behandla och tolka resultat från eDNA-streckkodning.

qPCR (quantitative Polymerase Chain Reaction) och ddPCR är andra molekylärbiologiska metoder som används för att undersöka förekomst av plankton. qPCR används bl.a. för kvantitativ analys av skadliga alger (Engesmo et al., 2018; Ruvindy et al., 2018). qPCR används för att undersöka förekomst av ett fåtal arter åt gången.

4.2 Automatisk planktonanalys med AI-baserad bildanalys

Automatisk växtplanktonanalys gör det möjligt att ha en hög provtagningsfrekvens vilket medför att den naturliga variationen kan beskrivas. Det blir dessutom möjligt att varna för skadliga algbloomningar när de håller på att utvecklas. SMHI använder idag ett instrument kallat IFCB (Imaging FlowCytobot, Fig. 45), en sorts automatiskt mikroskop, för automatisk provtagning och analys av växtplankton ombord på forskningsfartyget Svea. Provtagning sker med ca 20 minuters mellanrum. Växtplankton i provet fotograferas (ofta flera tusen bilder per prov) och automatisk bildanalys gör det möjligt att identifiera och räkna organismerna samt bestämma biomassa (Moberg and Sosik, 2012; Olson and Sosik, 2007; Sosik and Olson, 2007). IFCB kan användas i vattnet (*in situ*) eller i genomflödessystem på fartyg eller på land. Det finns även andra likande instrument för högfrekvent automatisk växtplanktonanalys. SMHI och Göteborgs universitet anordnade en internationell workshop om automatisk växtplanktonanalys i Fiskebäckskil i augusti 2022 (Karlson et al., 2022).



Fig. 45. Imaging FlowCytobot (IFCB) är ett automatiskt mikroskop som kan användas under vatten, på land eller på fartyg. AI används för analys av de tusentals eller miljontals bilder som samlas in. Till vänster: IFCB vid en musselodling i Tångesund vid Orust. Till höger: exempel på bilder av växtplankton från IFCB i Tångesund.

4.3 Oceanografiska mätbojar

Oceanografisk mätbojar gör det möjligt att mäta ett antal parametrar med hög frekvens, t.ex. en gång per timme. Fartygsbaserad miljöövervakningen sker ofta med en frekvens på en månad. Det är en betydande variabilitet i havet som inte fångas upp med månatlig provtagning. SMHI driver tillsammans med Göteborgs universitet en oceanografisk mätboj i Kosterfjorden sedan år 2013. Bojen (Fig. 46) är utrustad med sensorer för fysiska oceanografiska parametrar och för mätning av klorofyllfluorescens samt syre. Exempel på resultat visas i Fig. 47 där även data från den månatliga provtagningen inom BVVF-kontrollprogram visas. Notera den ganska stora variationen på kort tidsskala mellan de månatliga ordinarie provtagningarna.



Fig. 46. SMHI driver tillsammans med Göteborgs universitet en oceanografisk mätboj i Kosterfjorden. Sensorer för klorofyllfluorescens (ett grovt mått på mängd växtplankton), syre, salthalt och temperatur är monterade på ca 1 m djup skickar data en gång i timmen.

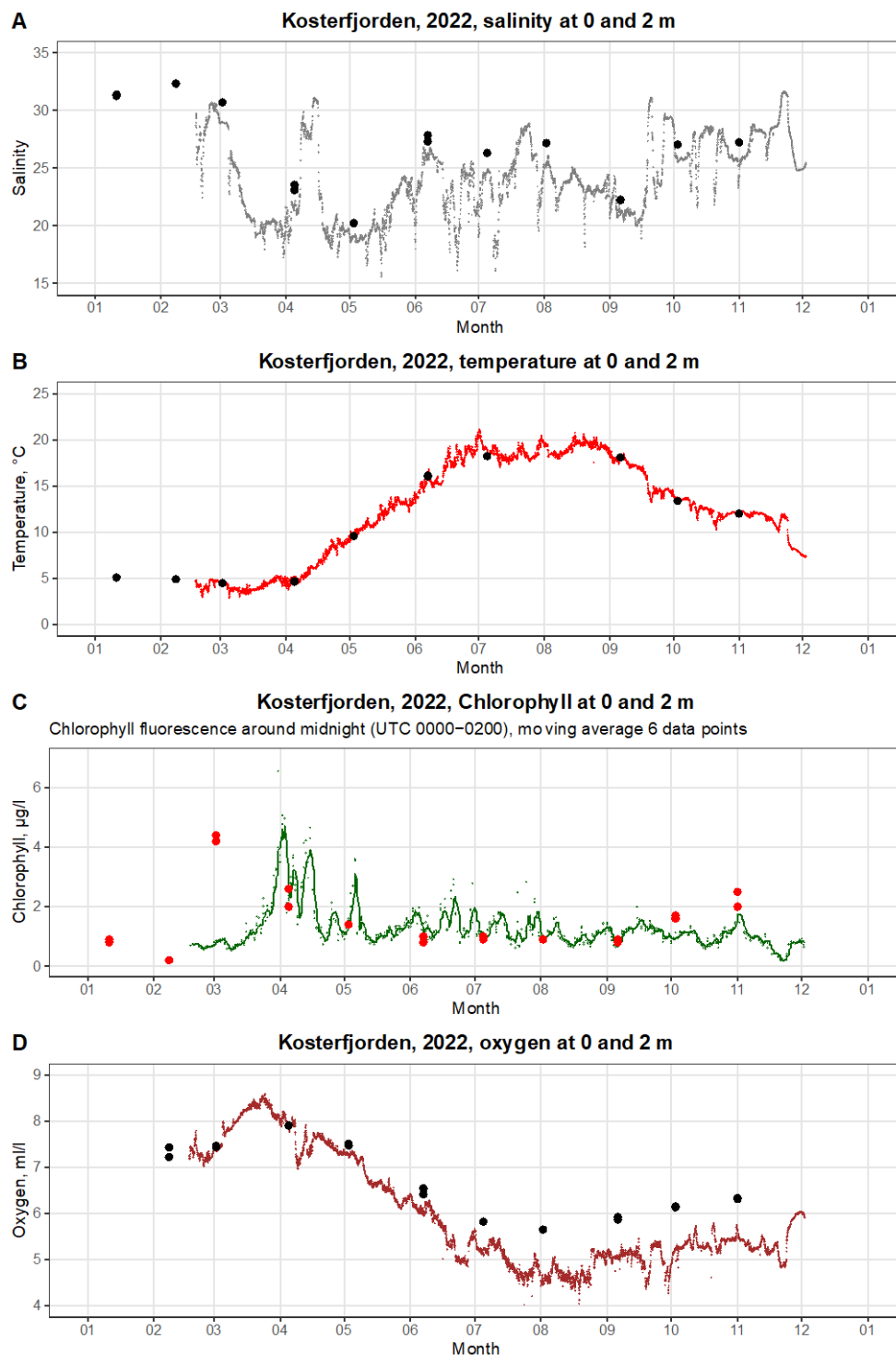


Fig. 47. Resultat från mätning med oceanografisk mätboj i Kosterfjorden år 2022. Mätbojens sensorer är placerade på ca 1 m djup. A. Salinitet, B. Temperatur, C. Klorofyll och klorofyllfluorescens och D. Syre. De svarta och röda punkterna visar resultat från SMHI/GU månatliga provtagningar som utförs på uppdrag av Bohuskustens vattenvårdsförbund.

4.4 Ferrybox-system

Med Ferrybox-system utförs kontinuerliga mätningar ombord på fartyg under gång. Oftast pumpas vatten från 3–5 m djup till sensorer och provtagningsapparater som är monterade inne i fartyget. Ferrybox-system har använts under många år och är en etablerad teknik (Ainsworth, 2008; Karlson et al., 2016). SMHI driver ett Ferrybox-system för automatiska mätningar och provtagningar ombord på R/V Svea, Fig. 48. Systemet innehåller en IFCB (se ovan), sensorer för klorofyllfluorescens, pH, pCO₂, syre, salinitet, temperatur m.m. samt en automatisk vattenprovtagare. Ett liknande system finns på passagerarfärjan ColorFantasy som har rutten Oslo-Kiel-Oslo och passerar svenska kusten flera gånger varje vecka. SMHI har tillsammans med NIVA (Norsk Institutt for Vannforskning) ett pågående samarbete gällande växtplanktonprovtagning nära två av SMHI:s fasta mätstationer: Å13 i Skagerrak och Anholt E i Kattegatt.

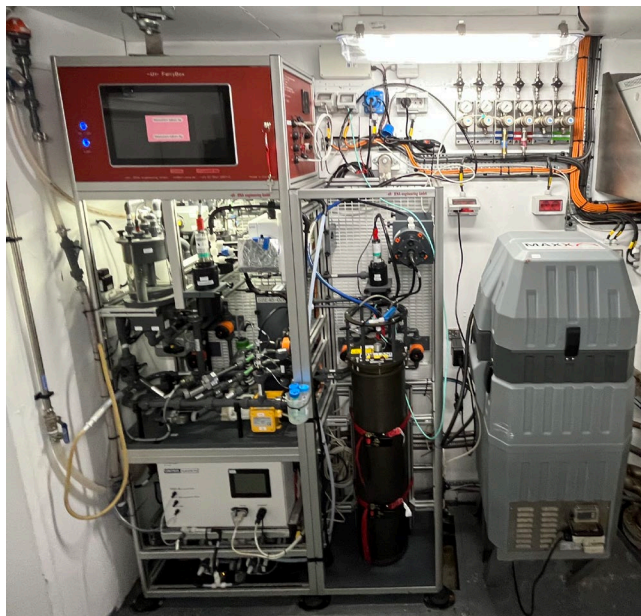


Fig. 48. Ferrybox-system på R/V Svea.

4.4 Fjärranalys – ocean colour

Fjärranalys av ocean colour, mätning av reflektans av solljus inom speciella våglängdsområden, gör det möjligt att få en uppfattning om växtplanktonbiomassa i havet nära ytan när det är molnfritt. ESA (European Space Agency) och NASA (USA) driver satelliter med användbara sensorer, t.ex. Sentinel 3A och 3B med Ocean and Land Colour Instrument (OLCI) och Aqua/Terra med MODIS. SMHI och andra använder data för att undersöka utbredningen av växtplanktonbiomassa i form av klorofyll. I öppna Kattegatt och Skagerrak erhålls goda resultat, ett exempel visas i Fig. 49. Inne i fjordar och nära kusten finns problem med att bottenlevande alger, t.ex. tång, och bottenmaterial som virvlar upp vid hård vind stör mätningarna. Även mängd humusämnen som kommer med tillrinning från land kan störa mätningarna. SMHI håller på att utveckla och utvärdera ett system för mätning av växtplanktonbiomassa med satellit nära kusten.

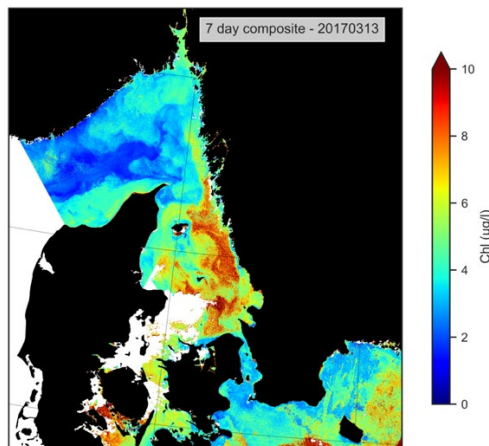


Fig. 49. Fjärranalysdata från sensorn Ocean and Land Colour Instrument (OLCI) på ESA satelliterna Sentinel 3A och 3B. En klorofyllprodukt baserad på mätning av så kallad ocean colour visas. Bilder från sju dagar har satts samman till en. Anledningen är att moln skymmer sikten för satelliterna tidvis. Data har behandlats av SMHI.

5 Diskussion

5.1 Skiljer sig kustvattentyper åt och i så fall varför?

Växtplanktondata från åretrunt-provtagning med relativt långa tidsserier från fem olika kustvattentyper samt från station Å17 i centrala Skagerrak har använts. En översikt av stationer finns i Fig. 7 och i tabell 4. Typerna 1n och 1s (Västkustens inre kustvatten, norra respektive södra) har en station med växtplanktondata vardera. Typ 2 (Västkustens fjordar) har växtplanktonprovtagning på tre stationer. Typ 3 (Västkustens yttre kustvatten, Skagerrak) har två stationer och typ 4 (Västkustens yttre kustvatten, Kattegatt) saknar station med växtplanktonprovtagning. De stationer där växtplanktonprovtagning endast skett åren 2015–2021 och endast under perioden maj–september, bl.a. Skalkorgarna i kustvattentyp 25 (Göta Älvs och Nordre Älvs estuarier), har inte kunnat användas för tidsserieanalys men de har använts för att undersöka skillnader mellan platser (Fig. 11 och Fig. 12).

I de fall då mer än en station har provtagits inom ett typområde kan man notera att variabiliteten inom typen är betydande, se t.ex. Västkustens fjordar (typ 2). Havstensfjorden sticker ut med en hög biomassa och en stor andel dinoflagellater under framförallt augusti och september. Men även Stretudden, som ligger i en annan kustvattentyp (1n), har hög andel dinoflagellater under hösten. Station Å17 i öppna Skagerrak avviker med lägre biomassa av växtplankton jämfört med kuststationerna. När sommardata från åren 2016–2021 används för att jämföra stationer visar det sig att högst växtplanktonbiomassor har observerats i närheten av utflöden från Göta Älv/Nordre Älv (Fig. 12). En möjlig orsak är att hög närsaltstillförsel från Göta Älv gynnar växtplanktontillväxt.

För att undersöka biodiversitet har data för cellantal och biomassa i kol använts. Två olika uppskattningar för biodiversitet har utförts, dels så kallad alfadiversitet (diversitet inom lokaler) där uträkningar baseras på cellantal och dels betadiversitet (diversitet mellan lokaler) där uträkningar baseras på

biomassa i kol. För alfadiversitet har antal observerade släkter undersökts, dels har Shannons diversitetsindex beräknats. När det gäller variationen mellan planktonsamhällen så kallad betadiversitet undersökts. Biodiversiteten räknat som antal observerade släkter (genus) av växtplankton visar en relativt hög alfadiversitet men också att stationer har ungefär lika hög alfadiversitet. Undantaget är att Danafjord verkar ha något högre alfadiversitet men inga större skillnader mellan kustvattentyper eller typområden har noterats. Författarna noterar att alfadiversiteten generellt ökar över tid för samtliga stationer. Ökningen kan bero på flera saker t.ex. att metoden förbättrats och kunskapen för släktes- och artbestämningen har ökat med tid hos planktonexperterna som utför analysen. En annan orsak kan vara att namngivningen av släkter och arter har förändrats och namn tillkommer och byts ut vilket kan påverka alfadiversiteten. Den sista förklaringen av ökande alfadiversitet kan vara att en faktisk ökning av biologisk mångfald ägt rum och att antalet släkter har ökat beroende av olika miljöfaktorer, t.ex. att arter som trivs i varmare vatten etablerat sig vid den svenska kusten. Om ökningen i alfadiversitet inte beror på metoden så är det dock inte heller tydligt vilka miljöfaktorer som skulle kunna ligga bakom ökningen. Analyser med linjär regression (ej visat i denna rapport) för alfadiversitet kopplat till olika miljöfaktorer, t.ex. temperatur, salinitet och närsalter visar inte på någon signifikant korrelation. Möjligtvis kan andra faktorer som t.ex. predation från djurplankton ligga bakom förändringar i alfadiversitet. Som nämns även på annan plats i rapporten har kammaneten *Mnemiopsis leidyi* etablerat sig i området. Den noterades år 2005 i Oslofjorden (Oliveira, 2007) och år 2006 i Kosterfjorden (Hansson, 2006). *M. leidyi* äter djurplankton och större växtplankton. Arten är vanlig sommartid och har sannolikt påverkat strukturen på växtplanktonsamhället direkt och indirekt.

När betadiversiteten analyseras så är återigen stationer från olika kustvattentyper och typområden relativt lika och variationen i planktonsamhällen skiljer åt mycket lite. Däremot står utsjöstationer och Västkustens fjordar ut i analysen, speciellt om analysen utförs på specifika perioder av året. Det är alltså en större skillnad mellan utsjön och Västkustens fjordar i olika kustvattentyper och typområden jämfört med övriga stationer. Intressant nog så verkar få miljövariabler driva variationen i planktonsamhällen med undantag av temperatur som ändå förhållandevis styr en liten del av variationen i planktonsamhällen. På sommaren (juni–augusti) verkar temperaturen däremot vara viktigare och driver en större del av variationen i planktonsamhället. En slutsats är att det är möjligt att variationen i planktonsamhället drivs av andra faktorer som vi inte har uppmätt eller en kombination av flera faktorer. Biologiska faktorer som t.ex. predation från djurplankton är inte inkluderande i den här analysen men kan spela en stor roll för växtplanktonsamhället.

Om man använder klorofyll *a* som ett grovt mått på växtplanktonbiomassa kan man konstatera att stationerna inom de olika kustvattentyperna inte skiljer sig åt så mycket vad gäller median för hela året, Fig. 50. När det gäller årscykeln kan man notera att vårbloomingen har sin topp senare i de inre fjordarna jämfört med utsjön (Fig. 23). Stationerna Byfjorden, Havstensfjord och Koljöfjord har högst växtplanktonbiomassa mätt som klorofyll *a* i april, medan övriga stationer har högst biomassa i mars. Vårbloomingen startar tidigare i utsjön än inne i fjordarna. Vårbloomingens start beror främst på

solinstrålning och vattenmassans skiktning, den senare är indirekt beroende av vindstyrka och vattentemperatur. Som nämnts tidigare så ingår inte primärproduktion i de data som använts i denna rapport, mätningar sker endast på en plats på Västkusten, vid Kristinebergs Marina Forskningsstation i Fiskebäckskil. Primärproduktionen följer inte alls biomassa för växtplankton utan är högst under sommaren (Tiselius et al., 2016).

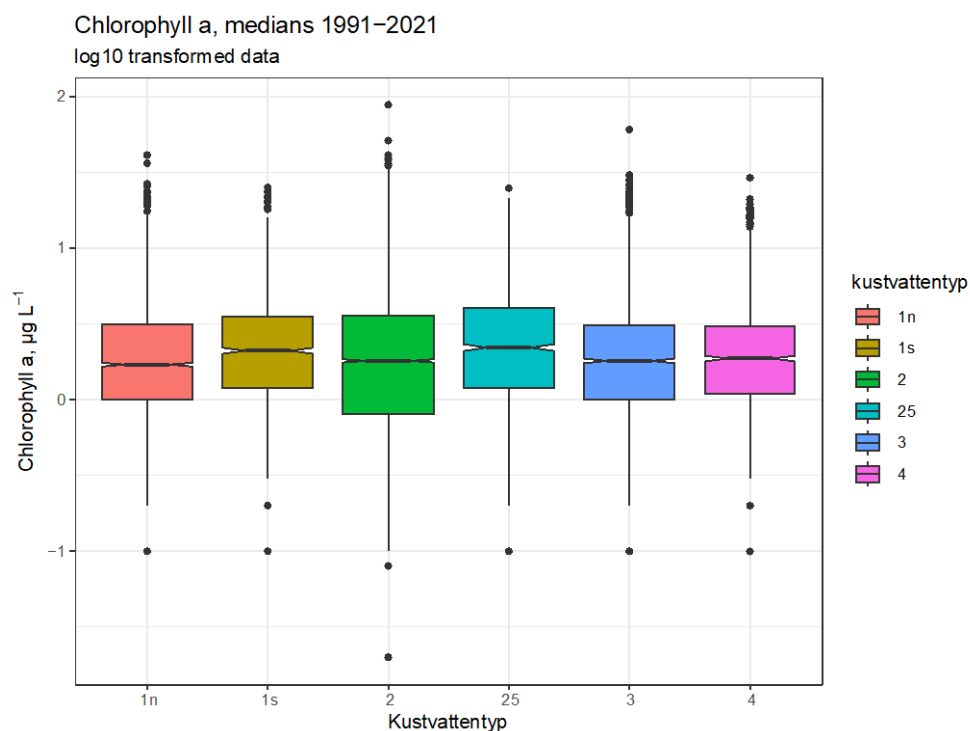


Fig. 50. En jämförelse mellan kustvattentyper gällande klorofyllkoncentrationer 0–10 m djup. Box-plottar visar median och 25 % och 75 % percentiler för log10 av klorofyll a (0–10 m djup). Data gäller åren 1991–2021.

5.2 Långtidstrender

Eventuella långtidstrender för ett antal parametrar har undersökts. För de flesta parametrar har tester som förutsätter en linjär förändring använts. En förändring betraktas som signifikant om p-värdet är $<0,05$, dessutom bör Pearson korrelationskoefficient (R^2) vara $>0,4$ (måttlig styrka). Om R^2 är $0,2-0,4$ är korrelation svag, om den är $0,4-0,6$ betraktas den som måttlig, $0,6-0,8$ innebär stark korrelation och när den är över $0,8$ är den mycket stark.

Årsmedelvärden för total växtplanktonbiomassa baserad på mikroskopi visar inga tydliga trender förutom vid station Åstol där en minskning noteras för perioden 2009–2021. När data från endast sommaren används observerades en minskad biomassa för stationerna Släggö (2000–2021) och Å17 (2001–2021) medan en ökning noterades för station Danafjord (2009–2021).

I kustvattentyp 2 (Västkustens fjordar), förutom vid stationerna Släggö och Galterö, noteras en minskning ($p < 0,05$) av växtplanktonbiomassa mätt som årsmedelvärden av klorofyll a under perioden 1991–2021, se Fig. 25. Men minskningen är generellt svag (Pearson korrelationskoefficient $R^2 = 0,2-0,4$)

eller saknar stöd ($R^2 < 0,2$). I övriga kustvattentyper och i öppna Skagerrak noteras ingen förändring. När man tittar på sommarvärden (juni–augusti) av klorofyll i ytvattnet så noteras en minskning vid alla stationer inom kustvattentyp 2 (Västkustens fjordar) förutom vid Släggö. Siktdjupet ökar vid många stationer men det är inte konsekvent inom kustvattentyper.

Trendanalyser med GAM är en viktig komponent och anses överlägsen linjär regressionsanalys och Mann-Kendall tester för att hitta både kortvariga och långvariga trender i planktonsamhället för olika stationer. Generellt så verkar det finnas få signifikanta nedåtgående eller uppåtgående trender för de flesta parametrar, växtplanktongrupper och släkten som författarna har analyserat. Men det finns undantag där t.ex. trender för biomassa vid Åstol har en nedåtgående trend, dinoflagellater minskar i biomassa vid Koljöfjord och *Pseudo-nitzschia* har en uppåtgående trend vid Kosterfjorden och Danafjord. En djupgående analys för dessa trender kopplat till miljövariabler inklusive predation från djurplankton och andra faktorer, som ej inkluderats i den här rapporten, hade varit önskvärd.

Ytvattentemperaturen ökar vid i stort sett alla stationer, årsmedelvärden visar på störst ökning, ca 2 °C under perioden 1991–2021, vid stationer innanför Orust-Tjörn. Sommartid är ökningen 1–2 °C under perioden 1991–2021. Inga trender noteras gällande salthalt i ytvattnet.

En minskning av koncentrationer av löst oorganiskt kväve (DIN) under vintern (december–februari) noteras i alla kustvattentyper, Fig. 42, med undantag för Kosterfjorden nr16 (typ 3). I centrala Skagerrak (Å17) noteras ingen minskning av DIN. Vintervärden på löst oorganisk fosfor (DIP = fosfat) visar inga trender. Silikathalter ökar vintertid vid tre stationer inom kustvattentyp 2 (Västkustens fjordar): Byfjorden, Havstensfjord och Koljöfjord.

Minskningen av växtplanktonbiomassa mätt som klorofyll a och en ökning av siktdjup (Secchidjup) sammanfaller med en minskning av vinterhalter av löst oorganiskt kväve (DIN) och med en ökning av temperaturen i ytvattnet. De statistiska tester som utförts visar inte vilken parameter som eventuellt kan vara styrande. Författarna finner det dock glädjande att mycket talar för att minskad kvävebelastning av kustvattnet, en effekt av flera åtgärder på land, sannolikt haft effekt som inneburit minskad mängd växtplankton och ett ökat siktdjup. Man kan säga att övergödningen har minskat.

5.3 “Top down” eller “bottom up” kontroll?

Biomassa och artsammansättning av växtplankton beror på många faktorer. Tidigare betraktade många så kallad ”bottom up control”, d.v.s. att tillgången till näring och ljus samt temperaturen, styrde förekomsten av växtplankton. Det är i viss mån fortfarande sant, framförallt gällande starten av vårblomningen som till stor del styrs av när det blir tillräckligt ljust i ytvattnet för att tillväxten skall starta. Under resten av året är så kallad ”top down control”, d.v.s. betningstryck från djurplankton och andra som äter växtplankton viktig. Vid Västra Götalands kust varierar betningstrycket från djurplankton och även från bottenlevande filtrerare, t.ex. musslor och sjöpungr. Effekter av detta har inte undersökts i denna studie. Oftast saknas dataunderlag. Det är helt enkelt okänt hur stort betningstrycket är. En förändring som är känd är att kammaneten *Mnemiopsis leydii* har etablerat sig i området. Den noterades år 2005 i Oslofjorden (Oliveira, 2007) och år 2006 i

Kosterfjorden (Hansson, 2006). *M. leidy* äter djurplankton och större växtplankton. Arten är vanlig sommartid och har sannolikt påverkat strukturen på växtplanktonsamhället.

6 Slutsatser och förslag

6.1 Slutsatser från utvärdering av utökad provtagning under senare år

Växtplanktonprovtagningen har utökats på fem sätt på senare år: (1) Fyra extra stationer, provtagning månadsvis maj–september, (2) analys av bioolymer ($\text{mm}^3 \text{L}^{-1}$) och biomassa som kol ($\mu\text{g C L}^{-1}$), (3) analys av pikoplankton, (4) mycket högfrekvent provtagning vid Släggö år 2021 samt (5) provtagning med Ferrybox på rutten Oslo-Kiel.

1. Data från de fyra ”extrastationerna” är användbara, men det är olyckligt att provtagning inte skett under hela året. Vi föreslår att man prioriterar provtagning året runt framför provtagning vid många stationer under en del av året. Av de fyra stationerna har Byttelocket och Galterö högst prioritet enligt författarnas mening. Byttelocket har hög prioritet på grund av att det saknas växtplanktonprovtagning i närheten. Galterö har hög prioritet på grund av närhet till Stenungsund med stor befolkningstillväxt och många industrier. Vi noterar också att det saknas växtplanktonprovtagning i kustvattentyp 4 (Västkustens yttre kustvatten, Kattegatt) i Västra Götaland. Man bör överväga att införa växtplanktonprovtagning vid station Valö. Författarna noterar också att det saknas provtagning mellan Smögen (Byttelocket) och Kosterfjorden, en ganska lång kuststräcka.
2. Att analys av bioolymer och beräkning av biomassa i $\mu\text{g C L}^{-1}$ skall ske är för författarna en självklarhet för att kunna utvärdera långsiktiga förändringar. Detta bör permanentas och finansieras långsiktigt.
3. Pikoplankton har höga cellantal (flera hundra miljoner celler per liter) och små cyanobakterier (*Synechococcus*-typ) bidrar under sommar och höst med upp till ca 15 % av den totala växtplanktonbiomassan beräknad som månadsmedelvärden. Vi föreslår att analys av pikoplankton permanentas men att man byter till en annan teknik för analyserna. Den nuvarande tekniken (fluorescensmikroskopi) är tidskrävande och underskattar med stor sannolikhet mängden eukaryota pikoplankton. Vi föreslår att man byter teknik till flödescytometri som får betraktas som standardmetod för denna typ av analys.
4. Mycket högfrekvent provtagning skedde vid station Släggö år 2021 med 45 provtagningstillfällen. Resultaten visar på hög variabilitet på kort tidsskala. Vår slutsats är att högfrekvent provtagning (24 gånger per år) är önskvärt för att kunna beskriva naturlig variabilitet och för att utgöra underlag för varningar för skadliga algblomningar. Beslutande myndigheter bör överväga att införa högfrekvent provtagning vid en station i södra delen av Västra Götalands län, t.ex. vid station Valö eller station Danafjord. Anledningen till att placera den högfrekventa stationen i södra delen är att vattnet i genomsnitt

transporteras norrut längs kusten med Baltiska strömmen. Provtagning i södra delen kan utgöra underlag för varningar för skadliga algbloomingar som transporteras norrut till områden med havsbruk. Högfrequent provtagning vid Släggö i Gullmarsfjordens mynning bör fortsätta.

5. Ferrybox-provtagning av växtplankton sker idag var fjortonde dag med passagerarfärjan ColorFantasy på rutten Oslo-Kiel. Vi nämner detta bl.a. för att visa på denna möjlighet till kostnadseffektiv provtagning. Det bör vara möjligt att använda passagerarbåtar, bilfärjor eller andra fartyg för automatisk provtagning vid kusten.

6.2 Slutsatser av dataunderlagets användbarhet för klassningar inom vattenförvaltningen

Som beskrivs i inledningen (avsnitt 3.1) och i Fig. 6 är biovolym inte ett bra mått på mängd växtplankton då det systematiskt överskattar mängden kiselalger både totalt och relativt andra grupper av växtplankton. Biomassa mätt som kol bör ersätta biovolym. Författarna noterar att det saknas växtplanktonövervakning i kustvattentyp 4 (Västkustens yttre kustvatten, Kattegatt) i Västra Götaland. Vi noterar också att klassificering idag förväntas ske enligt HVMFS 2019:25:

Växtplankton i kustvatten och vatten i övergångszon ska klassificeras utifrån parametrarna biomassa av växtplankton, uttryckt som biovolym, och klorofyll a.

Vi finner att detta inte ger ett bra underlag för att uppfylla Sveriges miljömål, FN:s Agenda 2030 Mål 14 Hav och marina resurser och varken uppfyller Vattendirektivets krav eller Havsmiljödirektivets krav, se inledning. Framförallt tas inte hänsyn till utbredning av arter, artsammansättning och förekomst av invasiva arter. Vi föreslår att nya verktyg för klassificering tas fram.

6.3 Förslag till samordning mellan övervakningsprogram

Havs- och vattenmyndigheten, Livsmedelverket, SMHI och Länsstyrelsen för Västra Götaland är de myndigheter som ansvarar för övervakning av växtplankton i Västra Götalands län. Kommuner och industrier har slutit sig samman i Bohuskustens vattenvårdsförbund för så kallad recipientkontroll i vilken växtplanktonövervakning ingår. Livsmedelsverket har endast ansvar för övervakning av växtplankton som producerar alggifter (marina biotoxiner) som kan ansamlas i t.ex. musslor och ostron.

Vi föreslår att berörda myndigheter skapar en arbetsgrupp för att samordna och effektivisera växtplanktonövervakningen. Gruppen bör även innehålla representanter för Länsstyrelsen för Halland. Dessutom är det önskvärt med en gemensam webbplats som beskriver nuläge gällande algbloomingar i allmänhet, skadliga alger, alggifter i musslor och ostron och även gör en riskanalys för närmaste framtiden med hjälp av observationer och modeller. Goda exempel på sådana finns i Norge ([AlgeStatus](#)), i Skottland ([HAB reports](#)) och på Irland ([HAB bulletin](#)). Vi föreslår också att snabbare analys av växtplanktonprover införs generellt för att resultaten skall vara användbara för varningar för skadliga alger för att skydda medborgares hälsa och för att undvika ekonomiska förluster för havsbruket. Vi föreslår även att

ett par växtplanktonstationer i länet blir högfrekventa. Idag sker högfrekvent provtagning endast vid station Släggö i Gullmarsfjorden. Vi föreslår att station Valö eller station Danafjord i länets södra del blir högfrekvent (24 ggr per år) och att man även överväger högfrekvent provtagning i Kosterhavets nationalpark (station Kosterfjorden nr16).

Övervakning av växtplanktonbiomassa i form av klorofyll bör utökas genom att det införs i Livsmedelsverkets växtplanktonprovtagningar. På så sätt utökas provtagningsfrekvensen både rumsligt och temporalt. SMHI har på uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten tagit fram ett system för uppskattning av klorofyll i kustvatten baserat på fjärranalysdata. Genom att kombinera data från fjärranalys (ocean colour) med provtagning in situ kan ett bättre dataunderlag tas fram.

6.4 Förslag på utveckling av växtplanktonövervakningen

En karta som visar övervakning av växtplankton och/eller endast fysiska och kemiska parametrar år 2023 finns i Fig. 51. Som nämnts ovan: beslutande myndigheter bör överväga att införa högfrekvent provtagning (24 ggr per år) vid en station i södra delen av Västra Götalands län, t.ex. vid station Valö. Anledningen till att placera den högfrekventa stationen i södra delen är att vattnet i genomsnitt transporteras norrut längs kusten med Baltiska strömmen. Provtagning i södra delen kan utgöra underlag för varningar för skadliga algblomningar som transporteras norrut till områden med havsbruk. Man även överväga högfrekvent provtagning i Kosterhavets nationalpark (station Kosterfjorden nr16) eftersom denna miljö anses ha ett högt bevarandevärde.

Som nämnts ovan: inför provtagning året om vid stationerna Galterö och Byttelocket. En möjlig kostnadsbesparing fås genom att växtplanktonprovtagning vid stationerna Instö Ränna och Skalkorgarna eventuellt avbryts. En fem år lång tidsserie med provtagning endast sommartid avbryts. Två nya året-runt tidsserier etableras.

I den norra delen av Västra Götalands kust sker idag ingen växtplanktonövervakning mellan Byttelocket (Smögen) och Kosterfjorden, förutom SLV:s provtagning av skadliga alger nära Fjällbacka (Fig. 7). Vi föreslår att mätningar av växtplankton, klorofyll och fysiska/kemiska parametrar startar t.ex. vid station Musön (bottendjup 25 m, latitude 58.644752, longitud 11.234980). Här skedde provtagningar av fysiska och kemiska parametrar åren 1990–1994 inom ett kontrollprogram kallat BOSAM (Kommunalförbundet BOSAM, Bohusläns Samarbetskommitté, en föregångare till BVVF).

Införande av analys av pikoplankton med flödescytometri har nämnts ovan liksom vikten av att analysera biovolym ($\text{mm}^3 \text{L}^{-1}$) som utgör underlag för biomassa ($\mu\text{g C L}^{-1}$). Även Ferrybox-system för automatisk provtagning och fjärranalys av klorofyll (ocean colour) har nämnts ovan.

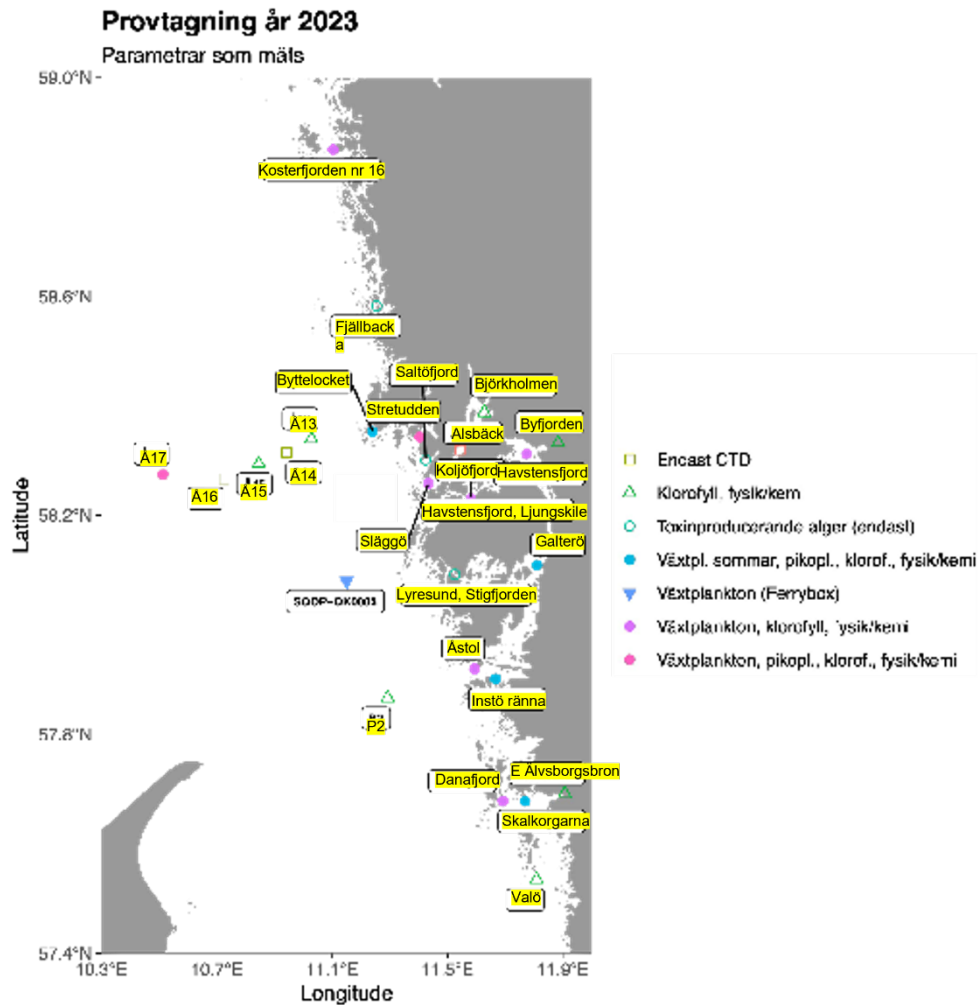


Fig. 51. Pågående provtagning i juli 2023. Kartan visar de viktigaste parametrarna som mäts. Djurplankton har inte tagits med i figuren men mäts på stationerna Släggö och Å17.

Annat relativt ny teknik som kan förbättra växtplanktonövervakningen:

- (1) eDNA-streckkodning (metabarcoding) för observation av biodiversitet och biogeografi (utbredning av arter) samt övervakning av främmande arter. Analyserna har relativt låg kostnad per prov om många prov analyseras. Ett förslag till övervakningsmanual har överlämnats till Havs- och vattenmyndigheten från projektet "DNA-streckkodning av marina växtplankton".
- (2) Högfrekvent automatisk växtplanktonanalys baserad på AI - imaging in flow (Imaging FlowCytobot). Denna teknik används idag på forskningsfartyget Svea och kan etableras på fler fartyg och platser, t.ex. på Kristineberg Center i Fiskebäckskil.
- (3) Fortsatt drift av kustmätsystemet "Kosterbojen".
- (4) Etablering av ytterligare en kustboj med sensorer, t.ex. vid Valö eller vid Åstol.

6.5 Beredskap inför nästa stora skadliga algblooming

Omfattande skadliga algbloomingar sker med ojämna mellanrum. Här följer några exempel. I Kattegatt-Skagerrak skedde den senaste stora blomningen år 2017 då *Pseudochattonella* orsakade fiskdöd i området, framförallt i danska delen av Kattegatt. Vårarna 2014, 2016 och 2017 förekom *Alexandrium* och orsakade stopp för skörd av musslor och ostron på grund av risken för paralyserande skaldjursförgiftning. År 1988 hade vi en blomning av *Prymnesium polylepis* (tidigare känd som *Chrysochromulina polylepis*). *Dinophysis* arter orsakar ofta höga halter av diarrégifter i musslor, senast hösten år 2022. Kiselalgen *Pseudo-nitzschia* kan orsaka amnesiförgiftning.

I norra Norge orsakade en blomning av *Chrysochromulina leadbeateri* omfattande fiskdöd år 2019 och innan dess år 1991. Kostnaden år 2021 har uppskattats till mer än två miljarder norska kronor (Karlsen et al., 2019).

Relativt sällsynt förekommande algbloomingar kan ha stora konsekvenser. Att vara förberedd på dessa blomningar innebär bl.a. att upprätthålla kompetens hos växtplanktonexperter, upprätthålla och utveckla provtagningsprogram och system för att distribuera information. Inom Västra Götalands län finns Informationscentralen för Västerhavet. Vi föreslår att SMHI, Informationscentralen och Livsmedelsverket gemensamt tar fram en webbplats för information om läget (se avsnitt 6.3).

6.6 Effekter av klimatförändringar – förslag på övervakning av kustzonens brunifiering – humus/CDOM

Övergödning har länge ansett vara det största problemet för kustmiljön. Det är troligt att klimatförändringar fortsättningsvis kommer att ha lika stor eller större påverkan. En effekt som förväntas är större tillrinning från land och därmed större transport av humus till kustvatten. I Norge har detta uppmärksammats som ett problem för kustvatten (Frigstad et al., 2020). Det uppmärksammas även som ett problem i Östersjön (Andersson et al., 2015). Byfjorden och Havstensfjorden har idag förhöjda halter av CDOM (Coloured Dissolved Organic Matter) enligt mätningar 2012–2013, åtminstone om man jämför med närliggande stationer (Harvey et al., 2019). Vi föreslår att berörda myndigheter inför övervakning av CDOM som en del av långsiktig miljöövervakning i Västra Götalands kustvatten.

7 Referenser

- Ainsworth, C., 2008. FerryBoxes begin to make waves. *Science* 322(5908), 1627-1629.
- Álvarez, E.A., Klemm, K., Hoppenrath, M., Cembella, A., John, U., Karlson, B., 2022. Temporal and spatial distribution of epibenthic dinoflagellates in the Kattegat-Skagerrak, NE Atlantic–Focus on *Prorocentrum lima* and *Coolia monotis*. *Harmful Algae* 118, 102318.
- Andersson, A., Meier, H.M., Ripszam, M., Rowe, O., Wikner, J., Haglund, P., Eilola, K., Legrand, C., Figueroa, D., Paczkowska, J., 2015. Projected future climate change and Baltic Sea ecosystem management. *AMBIO* 44(3), 345-356.
- Anonymous, 2017. Manual for Marine Monitoring in the COMBINE Programme of HELCOM <https://helcom.fi/action-areas/monitoring-and-assessment/monitoring-guidelines/combine-manual/>. HELCOM.
- Edler, L., Elbrächter, M., 2010. The Utermöhl method for quantitative phytoplankton analysis, In: Karlson, B., Cusack, C., Bresnan, E. (Eds.), *Microscopic and molecular methods for quantitative phytoplankton analysis*. UNESCO, Paris, pp. 13-20.
- Engesmo, A., Strand, D., Gran-Stadniczeńko, S., Edvardsen, B., Medlin, L.K., Eikrem, W., 2018. Development of a qPCR assay to detect and quantify ichthyotoxic flagellates along the Norwegian coast, and the first Norwegian record of *Fibrocapsa japonica* (Raphidophyceae). *Harmful Algae* 75, 105-117.
- European-Union, 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament: establishing a framework for community action in the field of water policy. *Off J Eur Parliam* 327, 1-82.
- European-Union, 2006. 7/EC of the European Parliament and of the Council of 15 February 2006 concerning the management of bathing water quality and repealing Directive 76/160/EEC. *Official Journal of the European Union* 2013, L64.
- European-Union, 2008. Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive). *Official Journal of the European Union*.
- European-Union, 2010. Commission Decision of 1 September 2010 on criteria and methodological standards on good environmental status of marine waters (notified under document C(2010) 5956) (Text with EEA relevance) (2010/477/EU). *Official Journal of the European Union*.
- European-Union, 2017. Commission Directive (EU) 2017/845 of 17 May 2017 amending Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council as regards the indicative lists of elements to be taken into account for the preparation of marine strategies. *Official Journal of the European Union*.
- European-Union, 2019. Commission Implementing Regulation (EU) 2019/627 of 15 March 2019 laying down uniform practical arrangements for the performance of official controls on products of animal origin intended for human consumption in accordance with Regulation (EU) 2017/625 of the European Parliament and of the Council and amending Commission

Regulation (EC) No 2074/2005 as regards official controls. Official Journal of the European Union.

Field, C.B., Behrenfeld, M.J., Randerson, J.T., Falkowski, P., 1998. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science* 281(5374), 237-240.

Frigstad, H., Kaste, Ø., Deininger, A., Kvalsund, K., Christensen, G., Bellerby, R.G.J., Sørensen, K., Norli, M., King, A.L., 2020. Influence of Riverine Input on Norwegian Coastal Systems. *Frontiers in Marine Science* 7.

Gjosaeter, J., Lekve, K., Stenseth, N.C., Leinaas, H.P., Christie, H., Dahl, E., Danielssen, D.S., Edvardsen, B., Olsgard, F., Oug, E., Paasche, E., 2000. A long-term perspective on the Chrysochromulina bloom on the Norwegian Skagerrak coast 1988: A catastrophe or an innocent incident? *Marine Ecology Progress Series* 207, 201-218.

Hansson, H.G., 2006. Ctenophores of the Baltic and adjacent Seas—the invader *Mnemiopsis* is here. *Aquatic Invasions* 1(4), 295-298.

Harvey, E.T., Walve, J., Andersson, A., Karlson, B., Kratzer, S., 2019. The Effect of Optical Properties on Secchi Depth and Implications for Eutrophication Management. *Frontiers in Marine Science* 5.

Havs- och vattenmyndigheten, 2022. Hav i balans samt levande kust och skärgård. Fördjupad utvärdering av miljö kvalitetsmålen 2023. ISBN: 978-91-89329-47-8, p. 84.

Hedblom, M., Torstensson, A., Lindh, M., Karlson, B., Andersson, A.F., Latz, M.A.C., Brugel, S., Andersson, A., Inskickad till HaV 2022. Övervakningsmanual DNA-streckkodning för övervakning av diversitet och utbredning av växtplankton, mikrozooplankton och bakterieplankton i kust och hav

Hu, Y.O.O., Karlson, B., Charvet, S., Andersson, A.F., 2016. Diversity of Pico- to Mesoplankton along the 2000 km Salinity Gradient of the Baltic Sea. *Front. Microbiol.* 7, 17.

Jerney, J., Hällfors, H., Jakobsen, H., Jurgensone, I., Karlson, B., Kremp, A., Lehtinen, S., Majaneva, M., Meissner, K., Norros, V., Sildever, S., Suikkanen, S., Teeveer, K., 2023. Guidelines - DNA metabarcoding for monitoring the diversity and distribution of phytoplankton in marine and brackish waters. Nordic Council of Ministers, Copenhagen.

Johnson, P.W., Sieburth, J.M., 1979. Chroococcoid cyanobacteria in the sea: A ubiquitous and diverse phototrophic biomass. *Limnol. Oceanogr.* 24(5), 928-935.

Karlsen, K.M., Robertsen, R., Hersoug, B., 2019. Kartlegging av hendelsesforløp og beredskap under giftalgeangrepet våren 2019-Astafjorden, Ofotfjorden, Vestfjorden og Tysfjorden.

Karlson, B., Andersen, P., Arneborg, L., Cembella, A., Eikrem, W., John, U., West, J.J., Klemm, K., Kobos, J., Lehtinen, S., Lundholm, N., Mazur-Marzec, H., Naustvoll, L., Poelman, M., Provoost, P., De Rijcke, M., Suikkanen, S., 2021. Harmful algal blooms and their effects in coastal seas of Northern Europe. *Harmful Algae* 102, 101989.

- Karlson, B., Andersson, L.S., Kaitala, S., Kronsell, J., Mohlin, M., Seppala, J., Wranne, A.W., 2016. A comparison of FerryBox data vs. monitoring data from research vessels for near surface waters of the Baltic Sea and the Kattegat. *Journal of Marine Systems* 162, 98-111.
- Karlson, B., Andreasson, A., Johansen, M., Mohlin, M., Skjevik, A.-T., Strömberg, P., 2015. Plankton Toolbox – open source software making it easier to work with plankton data, In: MacKenzie, A.L. (Ed.), 16th International Conference on Harmful Algae. Cawthron Institute, Nelson, New Zealand and the International Society for the Study of Harmful Algae (ISSHA), Wellington, New Zealand, pp. 194-197.
- Karlson, B., Berdalet, E., Kudela, R.M., 2022. The GlobalHAB mini-symposium on automated plankton observations. *Harmful Algae News* 71, 1-4.
- Karlson, B., Nilsson, P., 1991. Seasonal distribution of picoplanktonic cyanobacteria of *Synechococcus* type in the eastern Skagerrak. *Ophelia* 34(3), 171-179.
- Kuylenstierna, M., Karlson, B., 1994. Seasonality and composition of picoplanktonic and nanoplanktonic cyanobacteria and protists in the Skagerrak. *Botanica Marina* 37(1), 17-33.
- Lindahl, O., 1983. On the development of a *Gyrodinium aureolum* occurrence on the Swedish west coast in 1982. *Marine Biology* 77(2), 143-150.
- Lindahl, O., 1986. Offshore growth Of *Gyrodinium aureolum* (Dinophyceae)-The cause of coastal blooms in the Skagerrak area? *Sarsia* 71(1), 27-33.
- McGill, R., Tukey, J.W., Larsen, W.A., 1978. Variations of box plots. *The American Statistician* 32, 12-16.
- Menden-Deuer, S., Lessard, E.J., 2000. Carbon to volume relationships for dinoflagellates, diatoms, and other protist plankton. *Limnol Oceanogr.* 45(3), 569-579.
- Moberg, E.A., Sosik, H.M., 2012. Distance maps to estimate cell volume from two-dimensional plankton images. *Limnology and Oceanography-Methods* 10, 278-288.
- Oksanen, J., 2022. *Vegan: Community Ecology Package*. R package Version 2.6-4.
<https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- Olenina, I., Hajdu, S., Edler, L., Andersson, A., Wasmund, N., Busch, S., Göbel, J., Gromisz, S., Huseby, S., Huttunen, M., Jaanus, A., Kokkonen, P., Ledaine, I., Niemkiewicz, E., 2006. Biovolumes and size-classes of phytoplankton in the Baltic Sea. *Baltic Marine Environment Protection Commission*, Helsinki.
- Oliveira, O.M., 2007. The presence of the ctenophore *Mnemiopsis leidyi* in the Oslofjorden and considerations on the initial invasion pathways to the North and Baltic Seas. *Aquatic Invasions* 2(3), 185-189.
- Olson, R.J., Sosik, H.M., 2007. A submersible imaging-in-flow instrument to analyze nano-and microplankton: *Imaging FlowCytobot*. *Limnology and Oceanography-Methods* 5, 195-203.

- Pedersen, E.J., Miller, D.L., Simpson, G.L., Ross, N., 2019. Hierarchical generalized additive models in ecology: an introduction with mgcv. *PeerJ* 7, e6876.
- Persson, M., Karlson, B., Zuberovic Muratovic, A., Simonsson, M., Bergkvist, P., Renborg, E., 2020. Kontrollprogrammet för tvåskaliga blötdjur, Årsrapport 2014-2019, Livsmedelsverkets rapportserie, Uppsala, Sweden, pp. 1-55.
- QGIS-Association, 2022. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org>.
- R_Core_Team, 2022. R: A language and environment for statistical computing. . R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, URL <https://www.R-project.org/>.
- Ruvindy, R., Bolch, C.J., MacKenzie, L., Smith, K.F., Murray, S.A., 2018. qPCR assays for the detection and quantification of multiple paralytic shellfish toxin-producing species of *Alexandrium*. *Front. Microbiol.* 9, 3153.
- Simpson, G.L., Singmann, H., 2018. Package gratia. Ggplot-based graphics and other useful functions for GAMs fitted using MgcV, 0.1-0 (Ggplot-based graphics and utility functions for working with GAMs fitted using the mgcv package).[Google Scholar].
- Skjevik, A.-T., Bäck, Ö., Edler, L., Hansson, L.J., Johansen, M., Karlson, B., 2011. Utvärdering av växtplankton från Västerhavet.
- Sosik, H.M., Olson, R.J., 2007. Automated taxonomic classification of phytoplankton sampled with imaging-in-flow cytometry. *Limnology and Oceanography-Methods* 5, 204-216.
- Tiselius, P., Belgrano, A., Andersson, L., Lindahl, O., 2016. Primary productivity in a coastal ecosystem: a trophic perspective on a long-term time series. *Journal of Plankton Research* 38(4), 1092-1102.
- Utermöhl, H., 1931. Neue Wege in der quantitativen Erfassung des Planktons (mit besonderer Berücksichtigung des Ultraplanktons). *Verh. int. Ver. theor. angew. Limnol.* 5(2), 567-596.
- Utermöhl, H., 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitt. int. Ver. theor. angew. Limnol.* 9, 1-38.
- von Brömssen, C., Betnér, S., Fölster, J., Eklöf, K., 2021. A toolbox for visualizing trends in large-scale environmental data. *Environmental Modelling & Software* 136, 104949.
- Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., Chang, W., McGowan, L.D.A., François, R., Grolemund, G., Hayes, A., Henry, L., Hester, J., 2019. Welcome to the Tidyverse. *Journal of open source software* 4(43), 1686.
- Wood, S.N., 2006. Generalized additive models: an introduction with R. Chapman and Hall/CRC.

Bilaga 1. Tabell över stationer från vilka data använts

Klorofyll och fysik/kemi har mätts på alla stationer. I kolumnen kommentar beskrivs kortfattat tillgång till växtplanktondata.

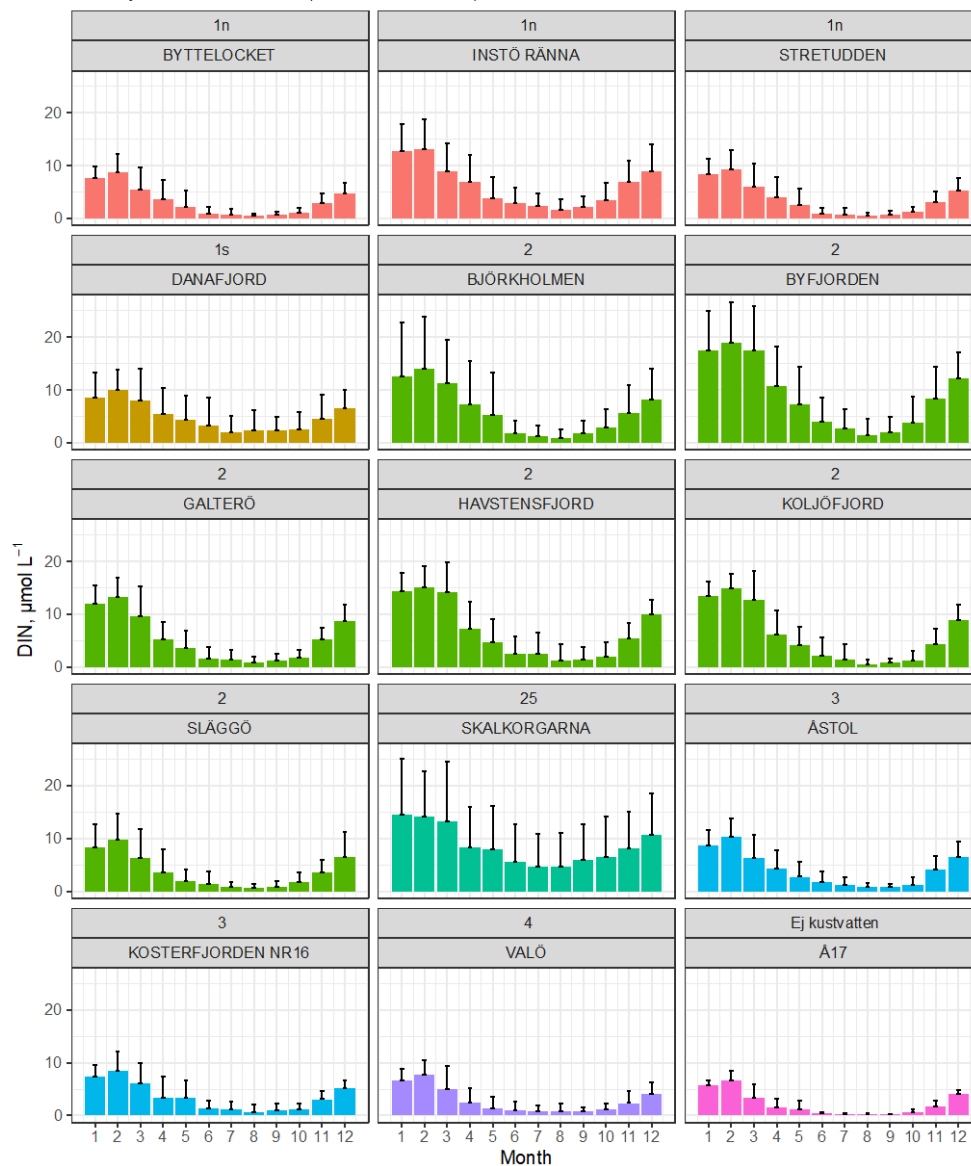
Kommentar	Stationsnamn	Typområde förkortning	Typområde	Vattenförekomst	Kod för vattenförekomst i SVAR Svenskt havsområdesregister
Växtplankton sommar vissa år	BYTTELOCKET	1n	1n - Västkustens inre kustvatten, norra	Kungshamns skärgård	WA11443142
Växtplankton sommar vissa år	INSTÖ RÄNNA	1n	1n - Västkustens inre kustvatten, norra	Älgöfjorden	WA80466205
Växtplankton året om	STRETTUDDEN	1n	1n - Västkustens inre kustvatten, norra	Yttre Brofjorden	WA22406332
Växtplankton året om	DANAFJORD	1s	1s - Västkustens inre kustvatten, södra	Dana fjord	WA51265873
Endast klorofyll och fysik/kemi	BJÖRKHOLMEN	2	2 - Västkustens fjordar	Gullmarn centralbassäng	WA46670058
Endast klorofyll och fysik/kemi (växtplankton ströks år 1995)	BYFJORDEN	2	2 - Västkustens fjordar	Byfjorden	WA29111809
Växtplankton sommar vissa år	GALTERÖ	2	2 - Västkustens fjordar	Halsefjorden	WA69972288
Växtplankton året om	HAVSTENSFJORD	2	2 - Västkustens fjordar	Havstensfjorden	WA43270311
Växtplankton året om	KOLJÖFJORD	2	2 - Västkustens fjordar	Koljöfjord	WA23971566
Växtplankton året om	SLÄGGÖ	2	2 - Västkustens fjordar	Gullmarn centralbassäng	WA46670058
Växtplankton sommar vissa år	SKALKORGARNA	25	25 - Göta Älvs- och Nordre Älvs estuarium	Rivö fjord	WA83017720
Växtplankton året om	KOSTERFJORDEN NR16	3	3 - Västkustens yttre kustvatten, Skagerrak	S Kosterfjorden	WA78752433
Växtplankton året om	ÅSTOL	3	3 - Västkustens yttre kustvatten, Skagerrak	Marstrandsfjorden	WA25351289
Växtplankton endast under kampanjen år 2011	VALÖ	4	4 - Västkustens yttre kustvatten, Kattegatt	Onsala kustvatten	WA64137885
Växtplankton året om	Å17	Ej kustvatten	Ej kustvatten	Del av Skagerraks utsjövatten	-

Bilaga 2 Fysiska och kemiska parametrar i ytvattnet

Årscykel för fysiska och kemiska parametrar i ytvattnet (0–10 m) vid 14 stationer längs Västra Götalands kust samt vid station Å17 i centrala Skagerrak. Månadsmedelvärden för perioden 1991–2021 presenteras. Variabilitet visas som standardavvikelse. DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen) är summan av nitrat, nitrit och ammonium i $\mu\text{mol L}^{-1}$. DIP är Dissolved Inorganic Phosphorous = fosfat) i $\mu\text{mol L}^{-1}$.

DIN

monthly means 1991–2021 (error bars show sd)



Phosphate

monthly means 1991–2021 (error bars show sd)



kustvattentyp 1n 2 3 4 Ej kustvatten

 1s 25

NP-ratio

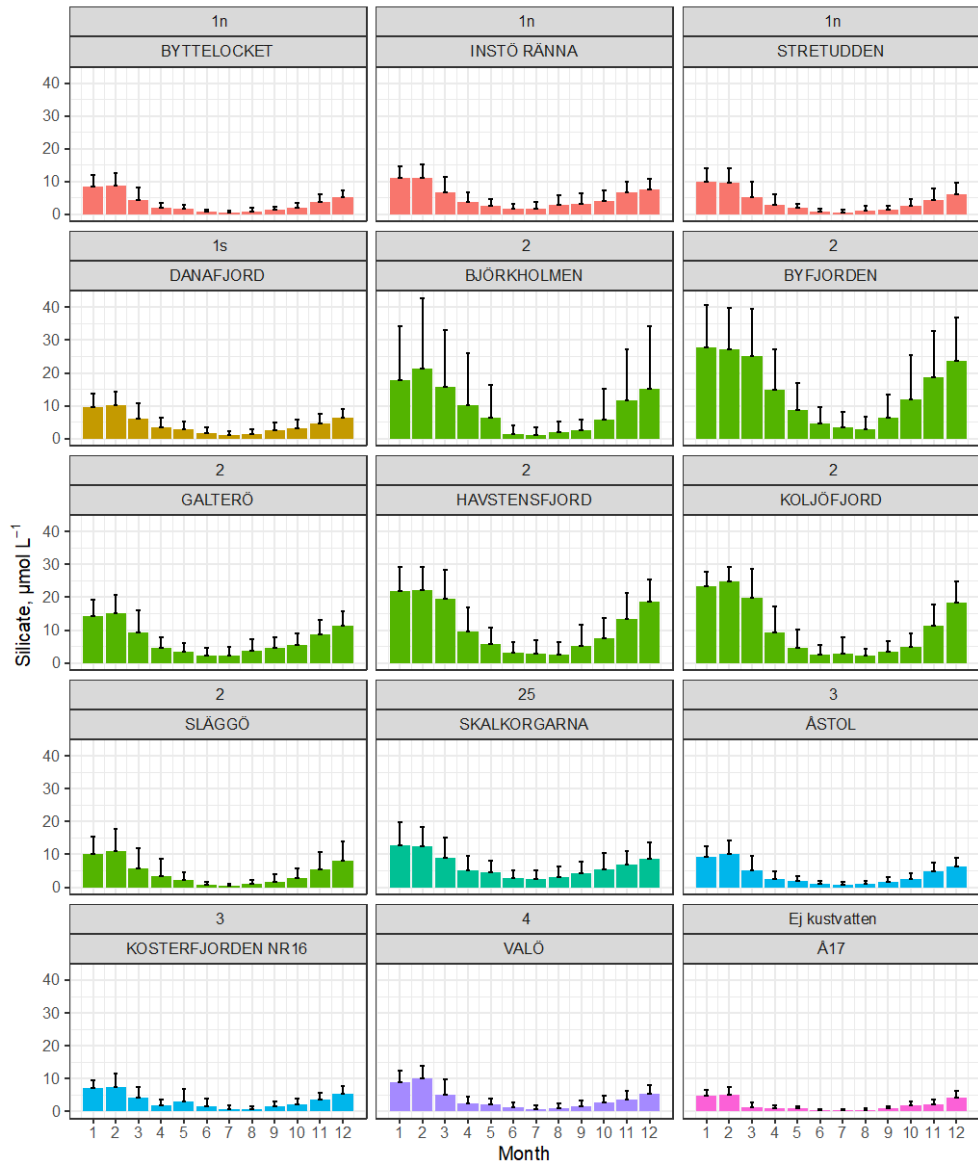
monthly means 1991–2021 (error bars show sd)



kustvattentyp 1n 2 3 4 Ej kustvatten
1s 25

Silicate

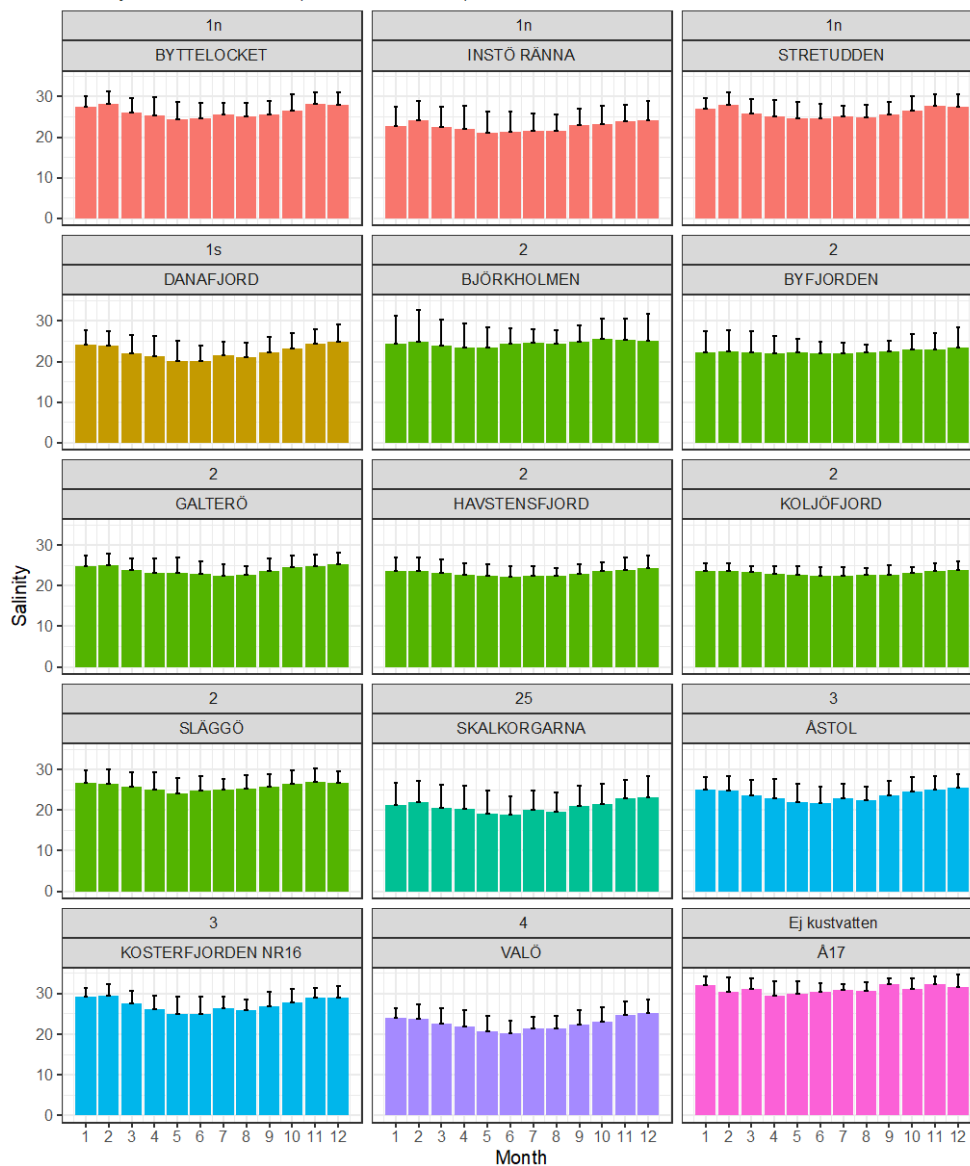
monthly means 1991–2021 (error bars show sd)



kustvattentyp 1n 2 3 Ej kustvatten
 1s 25 4

Salinity

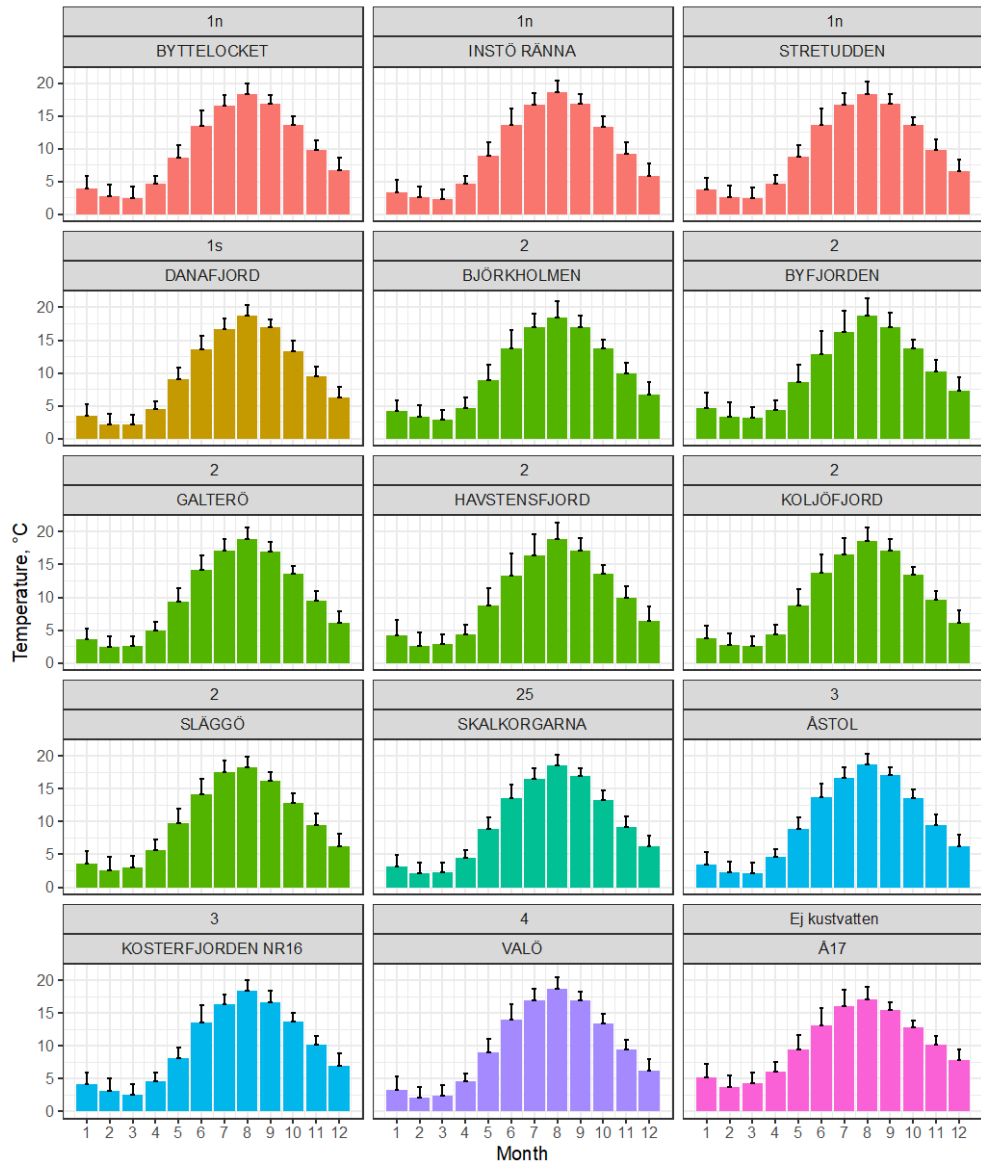
monthly means 1991–2021 (error bars show sd)



kustvattentyp 1n 2 3 Ej kustvatten
 1s 25 4

Temperature

monthly means 1991–2021 (error bars show sd)



kustvattentyp 1n 2 3 4 Ej kustvatten



Länsstyrelsen
Västra Götaland