

Klimatanalys för havsmiljöförvaltningen - Inledande bedömning 2023

Kari Eilola



Pärmbild.

Bilden föreställer skärgård vid Fiskebäck, Västra Frölunda. Foto: Kari Eilola

ISSN: 0283-7714 © SMHI

OCEANOGRAFI Nr 133

Klimatanalys för havsmiljöförvaltningen - Inledande bedömning 2023

HaV diarienummer 02654-2022, SMHI diarienummer 2022/1558/10.7.

Författare: Kari Eilola

Version 2023-05-24

Granskad och Godkänd av: Markus Lindh samt Lars Arneborg

Funktion: Chefer Samhällsplanering/vatten/oceanografi samt FoU/oceanografi

Denna sida är avsiktligt blank

Sammanfattning

I analysen beskrivs observerade och modellerade nutida och framtida förändringar i svenska havsområden med fokus på de närliggande årtiondena. Analysen har omfattat en genomgång av olika källmaterial för följande havsmiljöparametrar: vattentemperatur, marina värmeböjor, maximal havsisutbredning, färskvattentillförsel, havsnivåer och landhöjning, salthalt och inflöden av salt till Östersjön, skiktning, vågor och strömmar, uppehållstider, uppvällning, syreförhållanden, havsförurning och koldioxid, näringsämnen fosfor och kväve, organiskt kol, blått kol och brunifiering.

Resultaten visar att havsnivån och ytvattentemperaturen i haven runt Sverige stiger, förekomsten av nya värmerekord ökar och den maximala havsisutbredningen minskar. I sydligaste Sverige medför stigande hav redan idag problem, men längs Norrlandskusten är landhöjningen snabbare än havsnivåhöjningen. Nederbörd och avrinning från Sverige ökar och i Östersjön ökar skiktningen på grund av ökad temperatur och minskad salthalt i ytvattnet samt ökad salthalt i djupvattnet. Framtida förändringar av salthaltsberoende skiktning är osäkra. Syreförhållanden i Västerhavet och Östersjön försämras och Egentliga Östersjön har genomgått ett regimskifte med en kraftig ökning av helt syrefria områden. Totalkväve har minskat i Västerhavet. Löst oorganiskt kväve har minskat i Västerhavet, Bottenviken samt södra och västra delen av Egentliga Östersjön. Totalfosfor har ökat i alla områden utom Skagerrak. Fosfat har ökat i Östersjön och Bottenhavet men minskat i Skagerrak. Förändringar i havsförurning är inte mätbara i centrala och norra Östersjön medan observationer i Västerhavet indikerar en minskning i pH. Siktdjupet i stora delar av Östersjön och Nordsjön har försämrats och ökad brunfärgning av vattnet tillsammans med ökade mängder av suspenderade partiklar från ökad avrinning orsakar kustzonsförmörkelse (coastal darkening). I kapitel 4 ges ett utökat sammandrag av resultat.

Slutsats från analysen är att tillståndet i våra hav håller på att förändras vilket behöver tas i beaktande vid miljöövervakning, havsplanering och havsförvaltning. En kontinuerlig övervakning är nödvändig för att följa upp effekter av åtgärder och för att upptäcka långsiktiga förändringar i havsmiljön. För planering av en hållbar utveckling behövs dessutom stöd från modeller som kan beskriva framtida förändringar och förklara samband mellan orsak och verkan från åtgärder och klimatförändringar.

Summary

In the analysis, observed and modelled present and future changes in Swedish seas are described with a focus on the nearby decades. The analysis includes a review of various source materials for the following marine environmental parameters: water temperature, marine heat waves, maximum sea ice extent, fresh water supply, sea levels and land elevation, salinity and inflows of salt into the Baltic Sea, stratification, waves and currents, residence times, upwelling, oxygen conditions, acidification and carbon dioxide, nutrients phosphorus and nitrogen, organic carbon, blue carbon and brownification.

The results show that the sea level and surface water temperature in the seas around Sweden are rising, the occurrence of new heat records is increasing and the maximum extent of sea ice is decreasing. In southernmost Sweden, the sea level rise is already causing problems today, but along the coast of Norrland, the land rise is faster than the rising sea level. Precipitation and runoff from Sweden increase and stratification increases in the Baltic Sea due to increased temperature and reduced salinity in the surface water and increased salinity in the deep water. Future changes in salinity-dependent stratification are uncertain. Oxygen conditions in the Skagerrak, Kattegat and the Baltic Sea are deteriorating and the Baltic proper has undergone a regime shift with a large increase in completely oxygen-free areas. Total nitrogen has decreased in the Skagerrak and Kattegat. Dissolved inorganic nitrogen has decreased in the Skagerrak and Kattegat, the Gulf of Bothnia and in the southern and western parts of the Baltic Sea. Total phosphorus has increased in all areas except Skagerrak. Phosphate has increased in the Baltic Sea and the Bothnian Sea, but decreased in the Skagerrak. Changes in ocean acidification are not measurable in the central and northern Baltic Sea, while observations in the Skagerrak and Kattegat indicate decreased pH. The visibility depth in large parts of the Baltic Sea and the North Sea has deteriorated and increased browning of the water together with increased amounts of suspended particles from increased runoff causes coastal darkening. Chapter 4 provides an extended summary of the results.

The conclusion from the analysis is that the state of our seas is changing, which needs to be considered in monitoring, planning and management. Continuous monitoring is necessary to follow up the effects of measures and to detect long-term changes in the marine environment. For the planning of a sustainable development, support is also needed from models that can describe future changes and explain the causes and effects from measures and climate change.

Innehållsförteckning

1	Bakgrund	9
1.1	Information från vägledningen.....	9
2	Syfte och metod.....	10
2.1	Uppdrag och upplägg av rapporten	10
2.2	Klimatförändring och klimatförändringarnas effekter	11
2.2.1	Ord och begreppsförklaringar till klimatanalysen	11
2.2.2	Klimatindikatorer och klimatindex	12
3	Resultat	14
3.1	Förändringar i havet	14
3.2	Vattentemperatur.....	15
3.3	Salthalt	22
3.4	Inflöden av salt till Östersjön	25
3.5	Marina värmeböljor	26
3.6	Maximal havsisutbredning	26
3.7	Vågor.....	28
3.8	Strömmar.....	28
3.9	Havsvattenstånd	29
3.10	Skiktning	31
3.11	Uppvällning.....	31
3.12	Färskvattentillförsel	31
3.13	Uppehållstider	35
3.14	Havsförsurning och pCO ₂	39
3.15	Syrehalt i vattnet	39
3.16	Organiskt kol, blått kol och brunifiering.....	41
3.17	Näringsämnen fosfor och kväve	42
4	Sammandrag av slutsatserna till den inledande bedömningen 2023	46
5	Tack	51
6	Referenser.....	52
7	Appendix	58
7.1	Appendix 1: Eilola 2020, Klimatförändringar i Nordsjön och Västerhavet	58
7.2	Appendix 2: Eilola 2020, Observationsdata och modellresultat	58
7.3	Appendix 3: Eilola 2020, Framtida klimatförändringar.....	58
7.4	Appendix 4: Eilola 2023, SMHI Kustzonsmodell, temperaturförändringar i kusten.....	58
7.5	Appendix 5: Eilola 2023, SMHI Kustzonsmodell, botten-syre-förändringar i kusten	58
7.6	Appendix 6: Eilola 2023, Kartor med benämningar av havsbassänger och mätstationer	58

Denna sida är avsiktligt blank

1 Bakgrund

Enligt den EU-gemensamma vägledningen för bedömning enligt artikel 8 i havsmiljödirektivet ([European Commission, 2022](#)) är klimatförändring och havsförurning viktiga frågor som behöver uppmärksammas i arbetet med havsmiljödirektivet.

1.1 Information från vägledningen

Som ett resultat av varmare klimat har en ökning av medelytttemperaturen på 0,11 °C per årtionde observerats i haven globalt sedan 1970 och denna uppvärmningstrend förväntas fortsätta under 2000-talet. Havet har också absorberat koldioxid som släppts ut till atmosfären sedan den industriella revolutionen. Som ett resultat har pH sjunkit med 0,1 vilket motsvarar en ökning av surheten med 26 %. Dessutom finns det allt fler bevis för att havets syrehalt minskar på grund av löslighetseffekter, förändringar i cirkulationen, övergödning, omblandning och syreförbrukning. Även vattnets kretslopp har förändrats av den globala uppvärmningen vilket leder till regionala förändringar i havsytans salthalt som också förväntas fortsätta. Klimatförändringarna kan orsaka fysiska och kemiska effekter. Stigande temperatur kan ha en direkt inverkan på vissa arter och/eller livsmiljöer (exempelvis förändringar i distributions-/migrationsmönster för kommersiell fisk). De kan också leda till ytterligare förändringar, såsom förändring av havsdynamik eller vattenpelarstruktur (blandning/skiktning), vilket i slutändan har en effekt på värmetransport och biogeokemiska kretslopp, och därför på marina livsmiljöer och specifika arter.

Klimatförändringsrelaterade effekter (direkta och indirekta) utgör därmed stressfaktorer för marina ekosystem och bör återspeglas bättre i havsmiljödirektivet. Förurning av havet har också effekter på marina organismer och livsmiljöer, inklusive upplösning av karbonatstrukturer och minskad prestationsförmåga särskilt i tidiga livsstadier av organismer. European Commission (2022) föreslår ett tillvägagångssätt för att bedöma klimatförändringar inom ramen för havsmiljödirektivet baserat på:

- Övervakning och analys av ändrade bakgrundsförhållanden (livsmiljö) på grund av förändringar i klimat och i karbonatkemi.
- Övervakning och analys av nuvarande och potentiella effekter på marina ekosystem.

Övervakning av livsmiljön ger grundläggande information för statusbedömning och tolkning av förändringar för olika deskriptorer samt för bestämning av deras referens- och tröskelvärden. Informationen är viktig för att förstå och för att kunna avgöra om tillståndsförändringar kan kopplas till en hanterbar belastning inom havsmiljödirektivet, eller om det beror på förändringar i klimatet eller karbonatsystemet som kan rapporteras men inte hanteras inom havsmiljödirektivet. För detta ändamål är det viktigt att havsmiljödirektivet stärker relationen med nuvarande havsövervakningssystem (EuroGOOS och regionala OOS, CMEMS-Copernicus, C3S-Copernicus, JERICO-RI, nationella klimattjänster, UNESCO/IOC, ICOS etc.) och främjar regional expertis i tolkningen av informationen.

2 Syfte och metod

2.1 Uppdrag och upplägg av rapporten

Havs- och vattenmyndigheten (HaV) har gett SMHI, som expertmyndighet, i uppdrag att ta fram underlag för HaVs bedömning av hur klimatförändringar påverkar svenska havsområden, i för havsmiljöförordningen relevanta aspekter. Önskemål från HaV är att ha fokus på observerade och förväntade förändringar under de närmaste årtiondena. Avsikten med denna delrapport är att sammanställa ett underlag och ge exempel samt länkar till material som kan vara ett stöd i den svenska beskrivningen av hur klimatförändringar kan påverka olika indikatorer som används vid bedömning av miljöstatus i haven runt Sverige. Analysen har omfattat en genomgång av olika källmaterial för följande havsmiljöparametrar: vattentemperatur, marina värmeböljor, maximal havsisutbredning, färskvattentillförsel, havsnivåer och landhöjning, salthalt och inflöden av salt till Östersjön, skiktning, vågor och strömmar, uppehållstider, uppvällning, syreförhållanden, havsförurning och koldioxid, näringsämnen fosfor och kväve, organiskt kol, blått kol och brunifiering. I sista kapitlet görs ett sammandrag av slutsatserna till den inledande bedömningen 2023.

Som kompletterande material för beskrivning av effekter i Västerhavet refereras också till Eilola (2020) som gjorde en studie av klimatscenarier för Västerhavet inom HaVs regeringsuppdrag ”Klimatförändringarnas och havsförurningens påverkan på koraller i Svenska marina miljöer”. Rapporterna med sammanfattningar samt figurer baserade på mätdata och modellresultat läggs till som appendix till denna rapport (Appendix 1, 2 och 3). Analysen var avsedd att ge en översiktlig bild av faktorer som kan påverka förhållanden i Kosterhavet och dess omgivning med relation till reven med kallvattenskoraller i vattnen under 75–100 meters djup där tillfälliga marina värmeböljor tidigare påverkat revens ekosystem. HaV redovisade Klimatförändringarnas och havsförurningens påverkan på koraller i svenska marina miljöer i sitt Regeringsuppdrag 2020 (se [länk](#)).

I Appendix 4 och 5 beskrivs analyser av förändringar i yttemperatur och bottensyre vid svenska kusten baserat på resultat från SMHI:s kustzonsmodell. I Appendix 6 visas kartor med benämningar av havsområden och kustzonsmodellens vattendistrikt (Vd) samt karta med mätstationer från den nationella övervakningen.

Den första delen i Marin strategi för Nordsjön och Östersjön, HaV:s rapport nr 2012:19 God Havsmiljö 2020 – Del 1: Inledande bedömning av miljötillstånd och socioekonomisk analys (se [länk](#)), ger en täckande beskrivning av grundläggande förhållanden i Sveriges havsområden inklusive hydrografiska och kemiska förhållanden.

2.2 Klimatförändring och klimatförändringarnas effekter

För denna studie är orsaken till klimatförändring av mindre betydelse än beskrivningen av vilka tillståndsförändringar man kan se och förvänta sig i bakgrundsmiljöförhållanden. Som underlag för uppskattning av effekter från klimatförändringar används exempel från både observerade historiska data och resultat från klimatscenarier med olika utsläpp av växthusgaser. Kumulativa effekter från olika påverkansfaktorer studeras inte här men kan ge betydande konsekvenser för ekosystemen. Enligt [Wählström et al. 2022](#) kan förändrad temperatur och salthalt tillsammans med minskad havsisutbredning i slutet av 20:e århundradet utgöra ett hot av samma storleksordning som kombinationen av alla nuvarande stressfaktorer på den marina miljön.

Som stöd för klimatanalysen är det bra att kunna skilja på olika ord och begrepp som används inom meteorologi och klimatologi. Nedan följer en lista med ord och begrepp som avser vad författaren av klimatanalysen menat i sammanhanget. Se även ord och begrepp hos IPCC (2021), SMHI och Meteorologiska världsorganisationen (WMO).

2.2.1 Ord och begreppsförklaringar till klimatanalysen

Klimatsystem: Det globala klimatsystemet omfattar atmosfären, hydrosfären, kryosfären, litosfären och biosfären och deras samspel. Väder är en del av klimatsystemet.

Klimat inom klimatologi: Klimat beskrivs av klimatsystemets typiska förhållanden mätt under en längre tid på en viss plats eller över ett område. Egenskaperna hos klimatsystemets variabler beskrivs exempelvis av medelvärden, variabilitet, upprepade mönster som årstidsvariationer och sannolikheten för klimatextremer.

Klimatextremer: Klimatextremer är klimatrelaterade förhållanden som är ovanliga i jämförelse med typiska förhållanden för en viss plats eller tid och kan medföra omfattande konsekvenser för människor, samhällen och ekosystem.

Väder: Väder beskrivs av meteorologiska variabler som temperatur, vind, nederbörd och molnighet på en viss plats och vid en viss tidpunkt. Väder kan förändras snabbt.

Klimat inom meteorologi: Klimat beskrivs av vädrets typiska förhållanden mätt under en längre tid på en viss plats eller över ett område. Egenskaperna hos de meteorologiska variablerna beskrivs exempelvis av medelvärden, variabilitet, upprepade mönster som årstidsvariationer och sannolikheten för extremväder.

Extremväder: Extremväder är väderförhållanden som är ovanliga i jämförelse med typiska förhållanden för en viss plats eller tid. Det kan exempelvis handla om stormar, skyfall, köldknäppar, eller värmeböljor och kan medföra omfattande konsekvenser för människor, samhällen och ekosystem. Extremväder har snabba förlopp i klimatsystemet jämfört med klimatextremer som pågår längre, exempelvis över en säsong.

Global uppvärmning: Jorden blir varmare när temperaturen vid jordytan ökar utöver dess typiska variationer.

Klimatförändring: Klimatförändring innebär att klimatsystemets förhållanden förändras utöver dess typiska variationer på en viss plats eller över ett område. En klimatförändring kan uppstå på grund av naturlig klimatpåverkan samt av mänsklig påverkan såsom utsläpp av växthusgaser. Långsamma interna variationer kan ibland räknas som klimatförändring jämfört med de typiska förhållandena, när de sker över längre perioder.

Effekter av klimatförändring: Förändringar och påverkan av miljön och samhället orsakade av klimatförändringar.

Utsläppsscenario: Klimatets framtida utveckling beror på kommande utsläppsnivåer av växthusgaser där till exempel RCP2,6 scenariot motsvarar en framtid med stora ansträngningar för att minska utsläppen till atmosfären (RCP2,6 leder till ca 2°C global uppvärmning) medan RCP4,5 är ett scenario som innebär högre utsläpp än vad Parisavtalet medger. I RCP4,5 ökar utsläppen inledningsvis och avtar från år 2040, medan i scenariot RCP8,5 fortsätter utsläppen att öka kraftigt även efter 2040.

Klimatscenario: Ett klimatscenario är en beskrivning av en tänkbar utveckling av klimatet i framtiden. En ensemble av klimatscenarier beskriver flera olika tänkbara utvecklingsförlopp för klimatet beroende av utsläppens utveckling och klimatets känslighet för utsläpp av växthusgaser.

Klimatmodeller: En klimatmodell är vanligen en tredimensionell matematisk beskrivning av hur atmosfären, landytan, havet, isarna och deras samspel fungerar. I vissa klimatmodeller ingår även vegetationen som en interaktiv komponent. Med klimatmodellerna undersöks exempelvis vad som händer i klimatsystemet vid olika stora förändringar av halten växthusgaser i atmosfären (klimatscenario). Man studerar också klimatets variabilitet och vilken effekt naturlig påverkan har på klimatet.

Havsmodeller: Havsmodeller beskriver hur strömmar, omblandning och biogeokemiska kretslopp i havet fungerar och påverkas när klimatet varierar eller förändras. Med havsmodellerna kan man exempelvis undersöka hur havsmiljön påverkas när tillförseln av näringsämnen från land ändras samtidigt som klimatet förändras.

Effekter på havsmiljön: Exempel på effekter som kan orsakas av global uppvärmning och utsläpp av växthusgaser är försurning av havet, stigande havsnivåer, minskad havsis, ändrad salthalt, syrehalt och temperatur i havet och förändrade levnadsförhållanden för ekosystem i havet.

Observerade förändringar: De trender som kan påvisas hos mätbara parametrar i havsmiljön, så som ökad eller minskad yttemperatur. Trender kan orsakas av klimatförändringen och/eller andra faktorer. Orsakerna bakom observerade trender kan studeras genom attributionsstudier.

2.2.2 Klimatindikatorer och klimatindex

Med en klimatindikator kan man följa hur en viss parameter varierat över tid samt utvärdera om det går att urskilja en trend i utvecklingen (se [beskrivning av klimatindikatorer på SMHI](#)). Indikatorer används som ett grundläggande verktyg för att analysera tillståndet i miljön samt för att åskådliggöra och kommunicera förändringar. Det kan vara medeltemperatur, vegetationsperiodens längd, solinstrålning, antal dagar med snötäcke, vinterns största snödjup, vårflod, havsis, havsvattenstånd, geostrofisk vind, nederbörd och extrem nederbörd. Oceanografiska och biogeokemiska indikatorer är kvantitativa mått som baseras på observerade mätvärden och/eller data beräknade med modeller. Vanligen har en indikator en enhet. Klimatindex används för att utifrån uppmätta och/eller beräknade data beskriva hur klimatet är, hur det har varierat och hur det kan komma att variera i tid och rum över en viss period (se [beskrivning av klimatindex på SMHI](#)). Klimatindex kan inkludera scenarier som beskriver tänkbara framtida utvecklingar. En del klimatindex är utformade för att kunna kopplas till specifik verksamhet i samhället.

SMHI KLIMATINDIKATORER

- Temperatur
- Snö
- Extrem nederbörd
- Nederbörd
- Maximal isutbredning
- Havsnivå
- Solinstrålning
- Geostrofisk vind
- Vegetationsperiodens längd
- Vårflodens startdatum

SMHI KLIMATINDEX

- Årets maximala byvindhastighet
- Största dygnsnederbörd
- Antalet fall med kraftig dygnsnederbörd
- Årets största sjudygnsnederbörd
- Årets längsta torrperiod
- Antalet torra dygn
- Årets högsta dygnsmedeltemperatur
- Årets lägsta dygnsmedeltemperatur
- Nollgenomgångar
- Vårens sista frost
- Höstens första frost

3 Resultat

3.1 Förändringar i havet

Effekterna av klimatförändringar i Östersjön och Nordsjön är olika eftersom de oceanografiska förhållandena och ekosystemen skiljer sig åt mellan havsområdena. Medan dynamiken i Nordsjön domineras av tidvatten, kännetecknas Östersjön av bräckt vatten, en permanent vertikal skiktning i de södra delbassängerna och ett säsongsbetonat havsistäcke i de norra delbassängerna. [Meier et al. 2022](#) uppdaterade resultaten från The Second Assessment of Climate Change ([BACC II, 2015](#)) med fokus på atmosfär, land, kryosfär, hav, sediment samt den terrestra och marina biosfären. De nya resultaten visar att naturliga variationer, särskilt för havet på multidekadiska tidsskalor, är större än tidigare uppskattat, vilket utmanar möjligheten att upptäcka förändringar i klimatet. HELCOM/Baltic Earth Expert Network on Climate Change ([EN CLIME](#)) sammanställde ett faktablad (se [länk](#)) för olika intressegrupper med övergripande resultat från en analys av trender och effekter från klimatförändringar i Östersjön.

The Baltic Earth Assessment Reports specialnummer ([BEAR](#)) ger en täckande och aktuell översikt över utvalda viktiga forskningsområden:

- Global climate change and the Baltic Sea ecosystem: direct and indirect effects on species, communities and ecosystem functioning
- Biogeochemical functioning of the Baltic Sea
- Climate change in the Baltic Sea region: a summary ([Meier et al. 2022](#))
- Salinity dynamics of the Baltic Sea
- Natural hazards and extreme events in the Baltic Sea region
- Oceanographic regional climate projections for the Baltic Sea until 2100
- Atmospheric regional climate projections for the Baltic Sea region until 2100
- Human impacts and their interactions in the Baltic Sea region
- Coupled regional Earth system modeling in the Baltic Sea region
- Sea level dynamics and coastal erosion in the Baltic Sea region

År 2016 publicerades en utvärdering om klimatförändringar och deras påverkan i Nordsjöområdet som sammanställde den forskning som fanns i ämnet. Utvärderingen kallas 'North Sea Region Climate Change Assessment' ([NOSCCA](#)) och motsvarar den globala IPCC rapporten och klimatrapporten BACC för Östersjön. Boken tillhandahåller detaljerade utvärderingar av historisk och framtida utveckling inom flera klimatrelaterade ämnesområden som berör hav, land och atmosfär. Se beskrivning av slutsatser i Eilola (2020, Appendix 1).

3.2 Vattentemperatur

Variationer och långtidsförändringar av ytemperaturen (SST) i Östersjön förklaras framförallt av lufttemperaturen. Avdunstningsprocesser, vinddriven uppvärmning i kustområden och molnighet påverkar också. Havsvattentemperaturen har stigit snabbast vid ytan. Med tiden sprider sig värmen nedåt genom olika transport- och blandningsprocesser så att hela vattenkolumnen så småningom värms upp med vissa skillnader beroende på djup och region. Resultat från [Dutheil et al. \(2021\)](#) indikerar att Östersjön kan delas in i fem olika områden med lite olika SST-trender: Bottenviken, Bottenhavet (inklusive Finska viken), östra och västra Egentliga Östersjön samt sydvästra Östersjön (Arkonabassängen, Danska sunden och Kattegatt). I tabell 1 sammanställs några uppskattade trender för ytemperatur i Östersjön.

[Kniebush et al. \(2019\)](#) fann att temperaturtrenden 1978–2007 ökade ca tio gånger jämfört med trenden 1856–2005. Den starka trenden under den senare perioden förklarades av den global uppvärmning i kombination med ett skifte i multidekadiska atmosfäriska svängningar över Atlanten från en kallare till en varmare fas. Resultaten indikerar att det är viktigt att vara varsam med extrapolationer och slutsatser baserade bara på observationsdata från korta tidsskalor. De poängterar också att det kan krävas långa klimatsimuleringar för att säga något om svängningar över långa tidsperioder.

[Liblik and Lips \(2019\)](#) studerade perioden 1982–2016 då genomsnittlig uppvärmning var 0,5 grader per årtionde i Östersjöns ytvatten. En snabbare uppvärmning har dock skett t.ex. i norra Bottenviken, östra delarna av Finska viken och Rigabukten (deras [figur 3](#)). Ökningen var störst under maj till september medan trenderna på vintern mestadels inte var statistiskt signifikanta.

Djupvattentemperaturen i Egentliga Östersjön har ökat i takt med ytemperaturen medan det intermediära vattnet kring 50 m värmts långsammare (deras [figur 4](#), bild C).

I figur 1 finns exempel på lite längre trenduppskattningar baserat på nationella observationsdata från Östersjön och Västerhavet sammanställt i en SMHI rapport från [Wesslander et al. \(2020\)](#).

Vintertemperaturen i ytvatten runt Sverige har enligt dessa uppskattningar ökat med ca 0,18–0,36 grader per årtionde förutom i Bottniska viken där trenduppskattningarna är osäkra. Snabbast ökning på vintertemperaturen ses i Västerhavet. I likhet med resultaten från [Liblik and Lips \(2019\)](#) har ytemperaturerna ökat mest under sommaren (ca 0,29–1,11 grader per årtionde) med störst ökning indikerad i norra Egentliga Östersjön och Bottenviken. Man kan också notera en skillnad i Västerhavet där ytemperaturen sommartid ökat ca 1,7 gånger snabbare i Kattegatt än i Skagerrak där temperaturökningen varit jämnare mellan vinter och sommar.

I figur 2, 3 och 4 kan man se uppskattningar på trender i ytvattentemperatur beräknade från en återanalys (1993–2020) samt från klimatscenedata (1993–2040) nedladdat från [Fördjupad klimatscenariotjänst | SMHI](#). Återanalyser produceras med hjälp av observationer och en havsmodell och ger användaren information på platser och vid tidpunkter där det inte finns observationer. Copernicus återanalysdata med assimilerade *in-situ* temperatur- och salthaltsprofiler samt SST från satellitdata finns att ladda ner från [Baltic Sea Physics Reanalysis NEMO-Nordic](#). På klimatscenariotjänsten presenteras även kartor där modellernas resultat regionalt kan indikera vissa

skillnader i trend mellan kust och öppet hav. Genom att ”klicka” på önskat område kan mer detaljer om horisontell variation i temperaturökningen erhållas (exempel Bottenviken [figur](#)).

Resultaten visar att Bottniska vikens SST trend (Fig. 2) för återanalys (1993–2020) var ca 0,4 °C per årtionde och klimatscenario (1993–2040) visar för RCP4,5 ca 0,3 °C per årtionde och för RCP8,5 ca 0,3 °C per årtionde. Egentliga Östersjöns SST trend (Fig.3) för återanalys var ca 0,5 °C per årtionde, för klimatscenario RCP4,5 ca 0,3 °C per årtionde och för RCP8,5 ca 0,3 °C per årtionde. Västerhavets SST trend (Fig.4) för återanalys var ca 0,6 °C per årtionde samt för klimatscenario RCP4,5 ca 0,2 °C per årtionde och för RCP8,5 ca 0,3 °C per årtionde. Man kan notera att det i Östersjön och Bottniska viken för perioden fram till 2040 inte syns några större skillnader i ytemperaturtrend mellan RCP4,5 och RCP8,5.

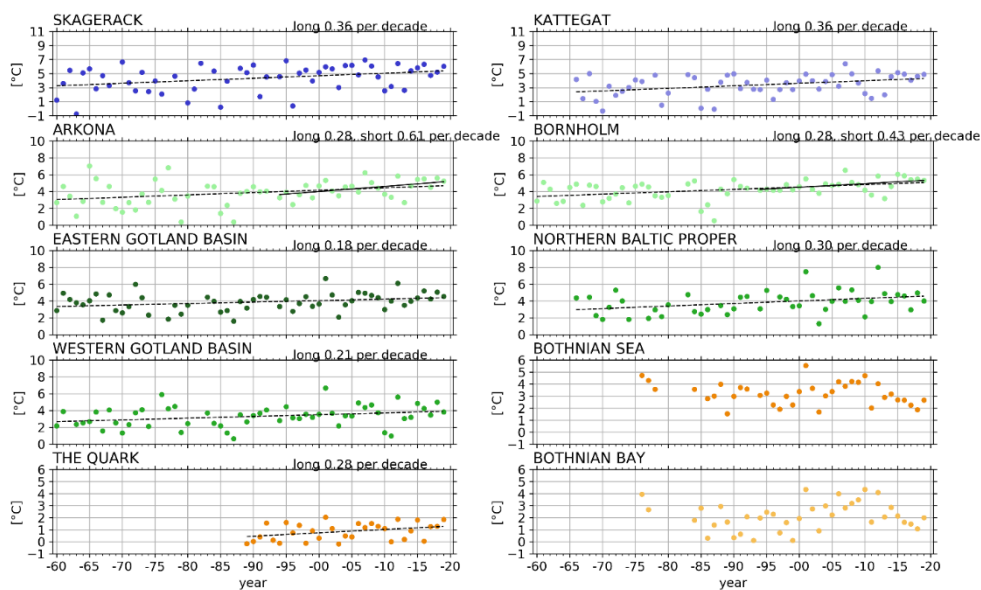
Framtida temperaturförändringar i haven runt Sverige beror på kommande utsläppsnivåer av CO₂. RCP4,5 innebär högre utsläpp än vad Parisavtalet medger och beskriver en framtid där utsläppen ökar inledningsvis för att sedan avta från år 2040. I RCP8,5 fortsätter utsläppen att öka även efter 2040. Projektioner av ytvattentemperatur för scenario RCP2,6 saknas på SMHI:s klimatscenariotjänst. Det scenariot beskriver en framtid där vi människor gör mycket stora ansträngningar jämfört med idag för att minska utsläppen. Här är utsläppen som störst år 2020 och därefter minskar de. Efter år 2100 är utsläppen negativa. Detta är det scenario som ligger närmast ambitionerna i klimatavtalet från Paris. Som jämförelse kan vi studera hur utvecklingen i atmosfären förväntas förändras i en jämförelse mellan RCP4,5 och RCP2,6. Om klimatet utvecklas enligt scenariot RCP2,6 kommer medeltemperaturen över Sverige att öka med 1,5 °C för perioden 2011–2040 jämfört med referensperioden (1976–2005). Om klimatet utvecklas enligt scenario RCP4,5 kommer medeltemperaturen över Sverige att öka med 1,6 °C för perioden 2011–2040 jämfört med referensperioden. Det betyder att vi inte ser några större skillnader i medeltemperaturökningar mellan dessa scenarier för de närmaste årtiondena framöver.

För att uppskatta temperaturförändringar inom kustzonsområdets olika vattendistrikt (Vd) används data från SMHIs [kustzonsmodell](#) för perioden 1991–2021 (Appendix 4). Den snabbaste ökningen noteras under hösten i samtliga distrikt (mellan ca 0,57 °C och 0,65 °C per årtionde). Årsmedelvärdet har ökat mellan ca 0,38 °C och 0,49 °C per årtionde med en snabbare ökning indikerad i Vd Östersjön och Vd Västerhavet jämfört med Vd Bottniska viken. Långsammast ökning i Vd Bottenviken noteras under vintern (0,13 °C per årtionde) och i Vd Bottenhavet under våren (0,28 °C per årtionde). Säsongsmedelvärden för sommar och vinter i Vd Västerhavet visar icke signifikanta trender.

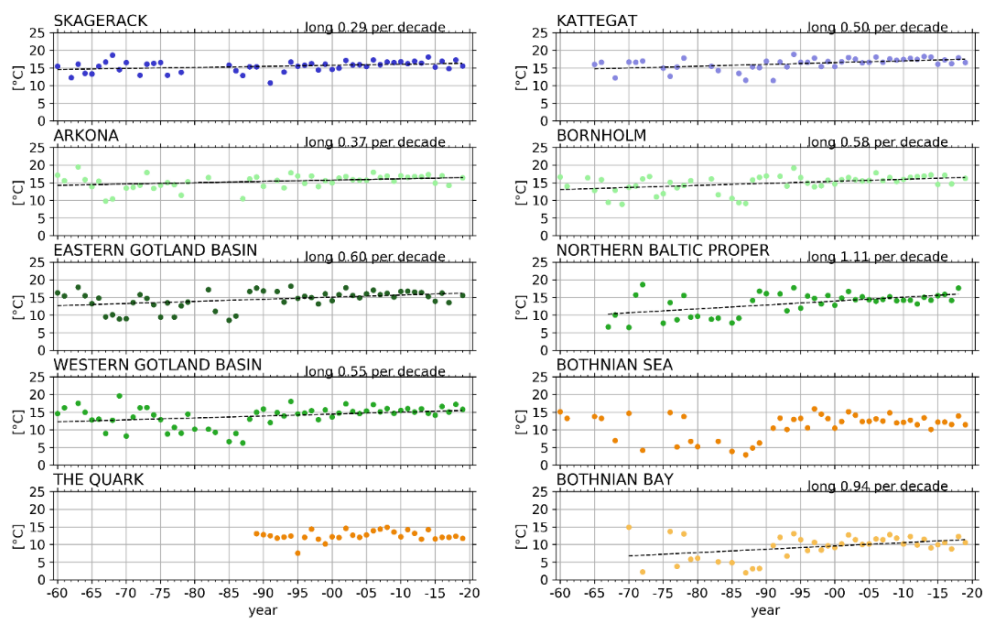
Tabell 1. Sammanställning av ett urval av uppskattade trender i ytemperatur för Östersjön.

Havsområde/Mätstation	Period	Trend grader per årtionde	Källa
Hela Östersjön, satellit	1990–2018	0,59	Referenser i Meier et al. 2022
Hela Östersjön, satellit	1982–2013	0,5	Referenser i Meier et al. 2022
Hela Östersjön, satellit	1982–2012	0,41	Referenser i Meier et al. 2022
Hela Östersjön, <i>in-situ</i> och satellit	1982–2016	0,3–0,6	Liblik and Lips (2019)
Sydvästra Östersjön, modell	1856–2005	0,06	Kniebush et al. (2019)
Nordöstra Östersjön, modell	1856–2005	0,03	Kniebush et al. (2019)
Hela Östersjön, modell	1978–2007	0,4	Kniebush et al. (2019)
Bottniska viken, återanalys	1993–2020	0,4	Fig. 2
Egentliga Östersjön, återanalys	1993–2020	0,5	Fig. 3
Västerhavet, återanalys	1993–2020	0,6	Fig. 4
Storfjärden nära Tvärminne	1927–2020	0,19	Goebler et al. (2022)
Vd Bottenviken, kustzon	1991–2021	0,38	Appendix 4
Vd Bottenhavet, kustzon	1991–2021	0,39	Appendix 4
Vd Norra Östersjön, kustzon	1991–2021	0,44	Appendix 4
Vd Södra Östersjön, kustzon	1991–2021	0,49	Appendix 4
Vd Västerhavet, kustzon	1991–2021	0,44	Appendix 4

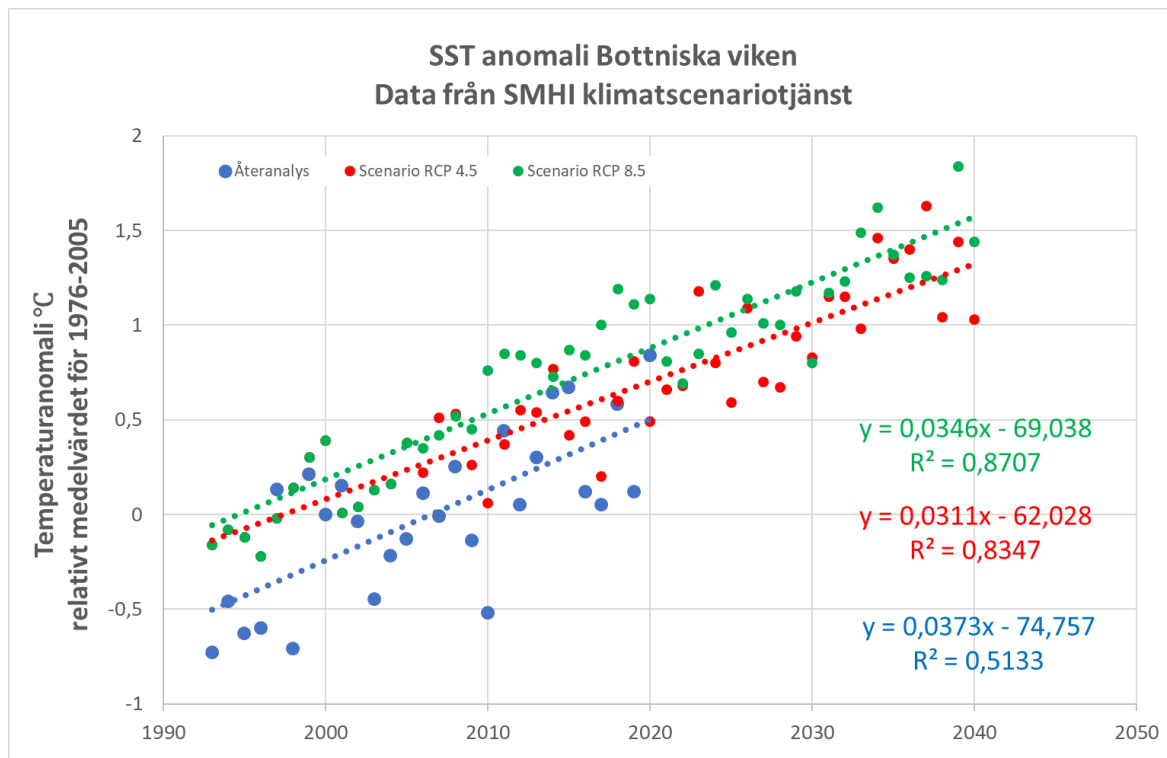
Temperature winter [°C] 0-10 m



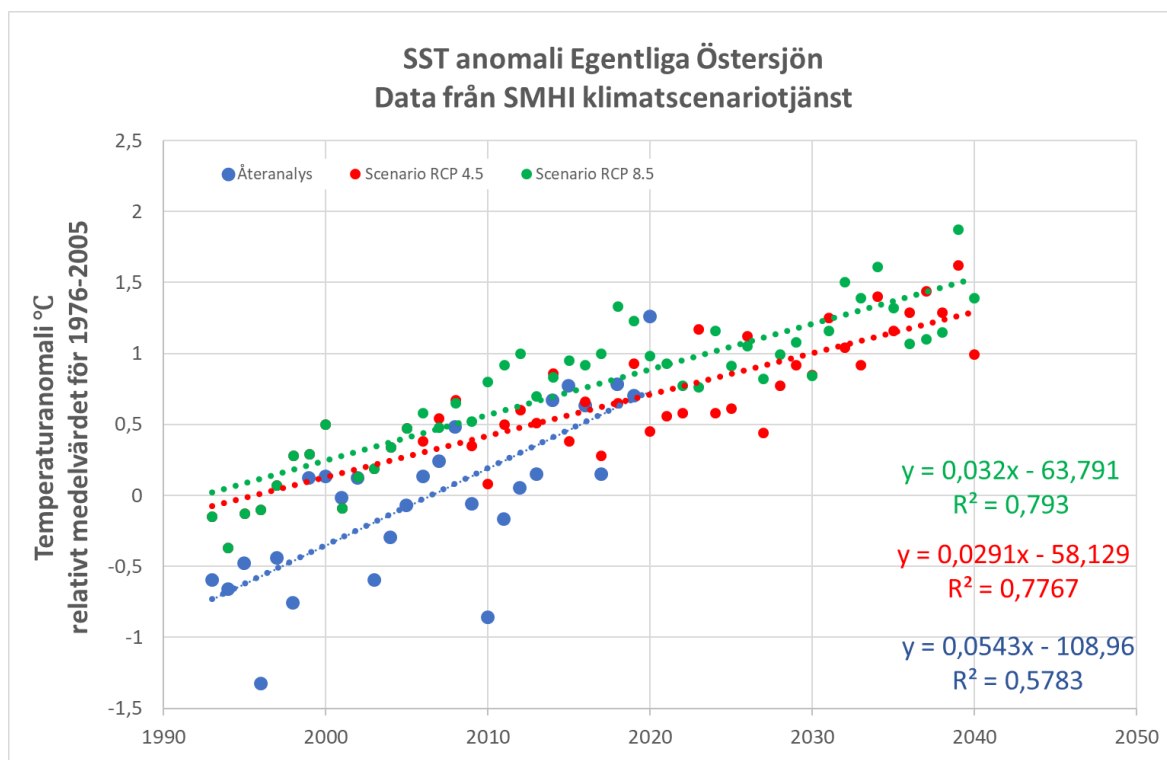
Temperature summer [°C] 0-10 m



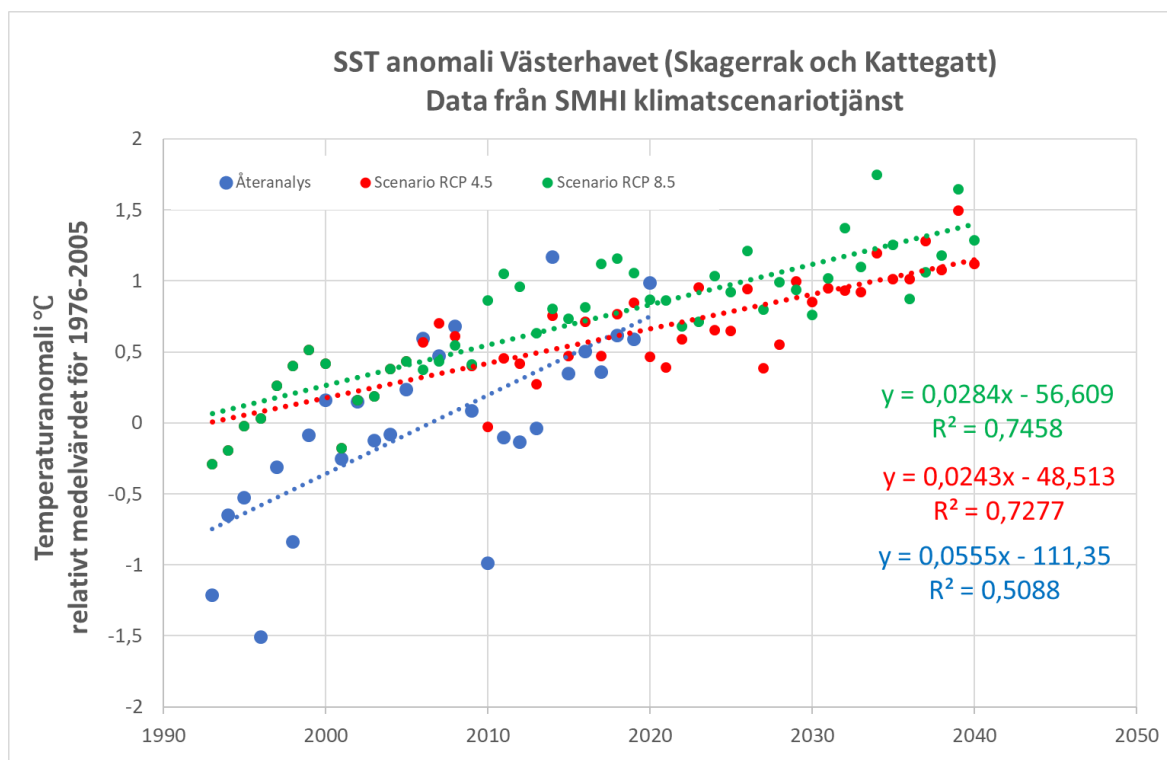
Figur 1. Figurer från [Wesslander et al. \(2020\)](#). SMHIs trendanalyser baserat på data från 1960- och 1970-talet. En linje visas när p-värdet för lutningen är $\leq 0,05$. Streckad linje visas för de längre tidsserierna och heldragen linje för tidsserien efter 1994.



Figur 2. Bottniska viken linjär regression på data från [SMHI](#). Diagrammet visar beräknad förändring av medelvärdet (År) för Ytvattentemperatur (°C) jämfört med referensperioden (medelvärdet för 1976–2005). Trend för återanalys (1993–2020) ca 0,4 °C per årtionde samt för klimatscenario (1993–2040) RCP4,5 ca 0,3 °C per årtionde och RCP8,5 ca 0,3 °C per årtionde.



Figur 3. Egentliga Östersjön (inklusive Finska viken och Rigabukten) linjär regression på data från [SMHI](#). Diagrammet visar beräknad förändring av medelvärdet (År) för Ytvattentemperatur (°C) jämfört med referensperioden (medelvärdet för 1976–2005). Trend för återanalys (1993–2020) ca 0,5 °C per årtionde samt för klimatscenario (1993–2040) RCP4,5 ca 0,3 °C per årtionde och RCP8,5 ca 0,3 °C per årtionde.

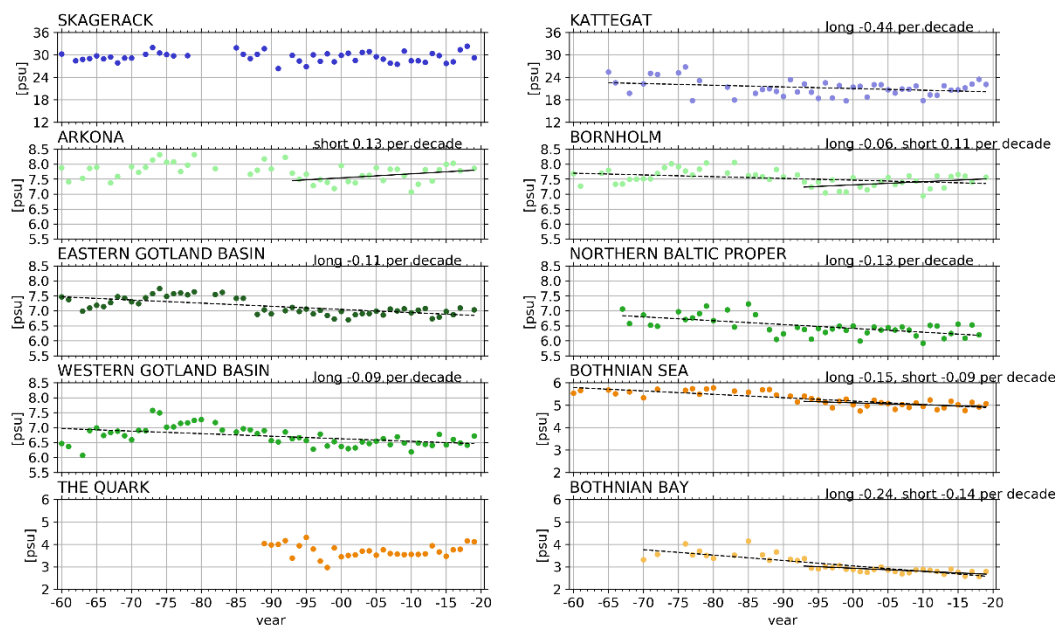


Figur 4. Västerhavet linjär regression på data från [SMHI](#). Diagrammet visar beräknad förändring av medelvärdet (År) för Ytvattentemperatur (°C) viken jämfört med referensperioden (medelvärdet för 1976–2005). Trend för återanalys (1993–2020) ca 0,6 °C per årtionde samt för klimatscenario (1993–2040) RCP4,5 ca 0,2 °C per årtionde och RCP8,5 ca 0,3 °C per årtionde.

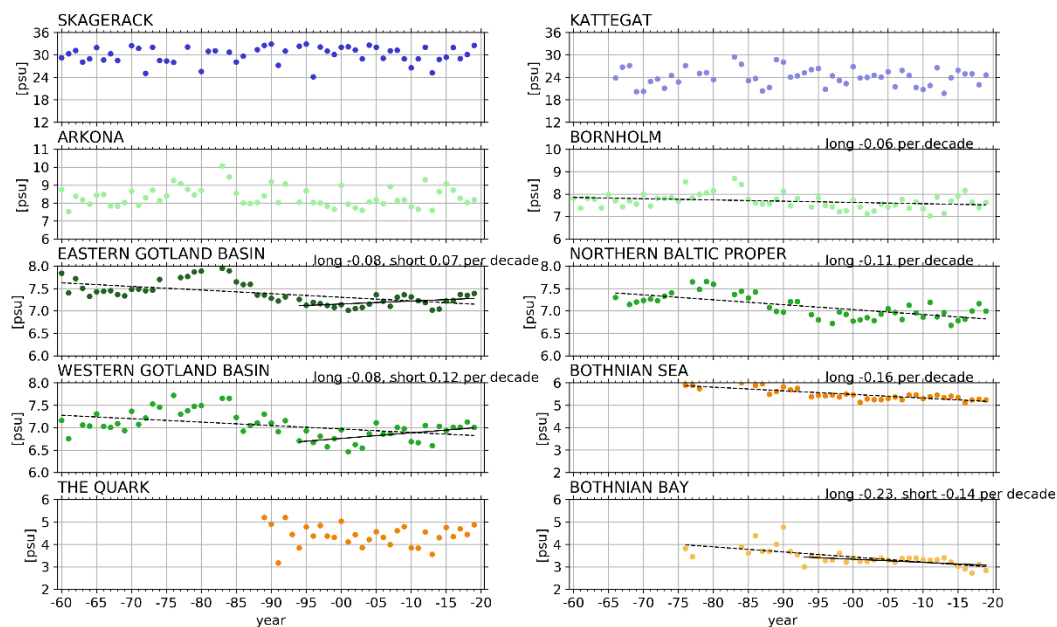
3.3 Salthalt

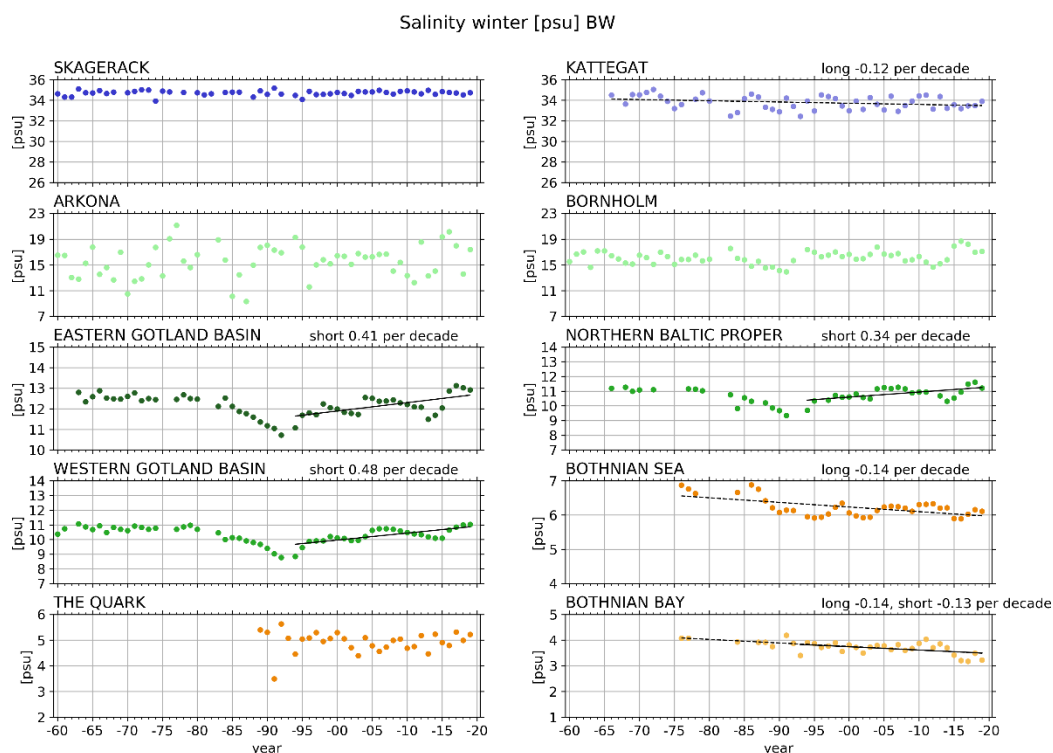
Densitetsskiktningen i Östersjön karakteriseras av tre skikt åtskilda av pyknokliner, en säsongsbetonad termoklin och en djupare liggande permanent haloklin. I Bottniska viken saknas dock permanent haloklin. [Liblik and Lips \(2019\)](#) studerade förändringar i salt-, temperatur- och densitetsskiktning i olika delar av Östersjön under perioden 1986–2016. De noterade en minskad salthalt i ytvattnet ner till ca 40–50 m djup på mellan -0,175 till -0,49 g kg⁻¹ (-0,005 till -0,014 g kg⁻¹ per år, deras [figur 4b](#) och [4d](#)) i alla delbassänger. Salthalten i djupvattnet ökade i Bornholms- och östra Gotlandsbassängen, Norra Egentliga Östersjön samt Finska viken med mellan 0,7 och 1,7 g kg⁻¹ (0,02 till 0,04 g kg⁻¹ per år, deras [figur 4b](#) och [4d](#)). Ingen signifikant trend noterades i djupvattnet i övriga delbassänger. Tidsserier för hur anomalier i salthalten varierade på olika djup under perioden visas i deras [figur 7b](#), [7d](#) och [7f](#) för Bornholms- och östra Gotlandsbassängen samt Finska viken. De minskande ytsalthalterna samt varierande trender syns även i de långa trenderna beskrivet från den nationella provtagningen i [Wesslander et al. \(2020\)](#), Fig.5. Salthalten i Bottenviken minskade med 0,013–0,014 g kg⁻¹ per år efter 1994 och Bottenhavet indikerade signifikant minskande salthalter i ytan under sommaren. [Liblik and Lips \(2019\)](#) fann dock ingen generell trend i saltinnehållet i Östersjön vilket indikerade att minskad salthalt i ytan balanserades av den ökade salthalten i djupvattnet. Vad gäller salthalten i Västerhavet hindrar problem med hög variabilitet på korta tidskalor möjligheten att fastställa långa trender ([NOSCCA](#)). Framtida förändringar i Östersjöns salthalt är osäkra (exempel i Fig.6). En ökad flodavrinning i norr tenderar att minska salthalten medan den globala havsnivåhöjningen tenderar att öka salthalten genom en ökad saltvattenimport från Kattegatt. På grund av stora osäkerheter i beräkningar av framtida sötvattentillförsel, vind och global havsnivåhöjning har inga robusta förändringar av framtida salthalter identifierats för Östersjön (EN CLIME faktablad, [länk](#)). Som exempel på möjliga framtida effekter från ökad nederbörd över norra Europa visade modellresultat från [Gröger et al. \(2019\)](#) att salthalten i RCP8,5 minskade speciellt i södra Skagerrak. Salthaltsminskningen förklarades både av minskad salthalt i utflödande vatten från Östersjön men framförallt av förändrat cirkulationsmönster i Skagerrak. Ökade sydvästliga vindar i scenarierna medförde att det sötare vattnet från Östersjön hölls kvar i Skagerrak i större utsträckning vilket ledde till minskade salthalter.

Salinity summer [psu] 0-10 m

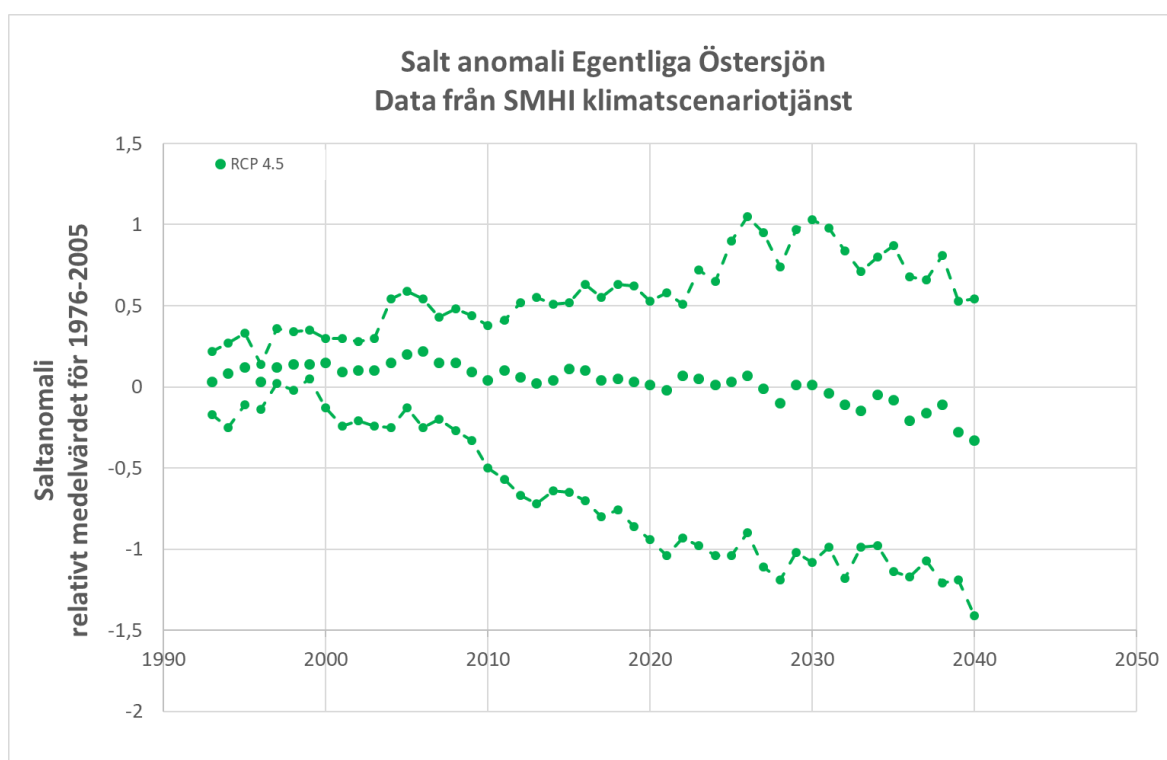


Salinity winter [psu] 0-10 m





Figur 5. Figurer från [Wesslander et al. \(2020\)](#). SMHIs trendanalyser baserat på data från 1960- och 1970-talet. Ytvattensalthalt sommar (över) och vinter (mitten). Salthalt vinter vid botten (nederst). Skagerrackdata visar ingen trend medan Kattegatts sommarvärden visar en negativ trend. En linje visas när p -värdet för lutningen är $\leq 0,05$. Streckad linje visas för de längre tidsserierna och heldragen linje för tidsserien efter 1994.



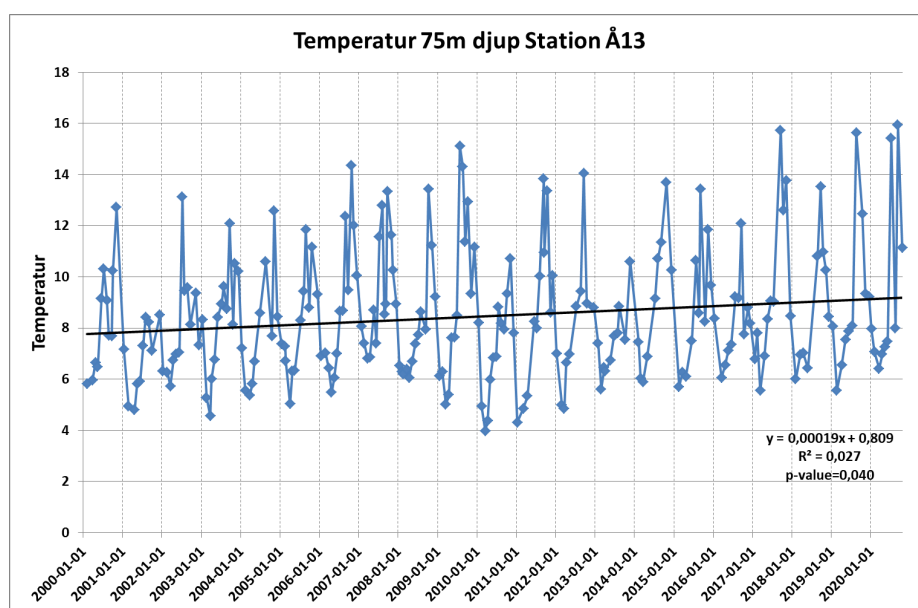
Figur 6. Egentliga Östersjön (inklusive Finska viken och Rigabukten) saltanomalidata från [SMHI](#). Diagrammet visar beräknad förändring av årsmedelvärdet för salthalt jämfört med referensperioden (medelvärdet för 1976–2005). Punkterna visar medelsalthalt under åren 1993 till 2040 för ensemble RCP4,5. Streckade linjer med prickar visar variationsbredden mellan ensemblens max- och minvärde. Not från Fördjupad klimatscenariotjänst, Resultatets robusthet: Eftersom resultaten baseras på flera olika simuleringar med klimatmodeller går det att göra statistiska analyser av hur robusta (dvs. tillförlitliga) resultaten är. Ju större andel av modellerna i ensemblen som pekar åt samma håll, desto mer robust resultat. Om exempelvis samtliga modeller visar att temperaturen ökar är det ett säkert resultat. Det är också ett säkert resultat om samtliga modeller visar en minskning. Om modellerna däremot fördelar sig förhållandevis jämnt mellan ökning och minskning (se exempel för salthalt i Fig.6) är resultatet inte robust.

3.4 Inflöden av salt till Östersjön

Egentliga Östersjöns djupvatten förnyas under vissa förutsättningar genom att saltare och tyngre vatten från Kattegatt rinner in genom Bälten och Öresund och fyller i tur och ordning djupområdena i Arkonabassängen, Bornholmsbassängen, östra Gotlandsbassängen och västra Gotlandsbassängen. Östersjöns in- och utflöden, salthalt och syreförhållanden övervakas bland annat av [SMHI](#). [Mohrholz \(2018\)](#) fann ingen statistisk förändring i inflöden av salt (deras [figur 9](#)). Deras slutsats var att klimatförändringarna hittills inte haft uppenbar inverkan på den inflödesrelaterade syretillförseln till centrala Östersjön (se även [figur 1](#) och [figur 2](#) hos [IOW](#)).

3.5 Marina värmeböljor

Från en tidserie med 40 års data har man sett att mellan 1981 och 2013 ökade antalet värmeböljor i havet utanför Bohuslän med 60 procent. Tyvärr är resultaten ännu ej publicerade (*personlig kommunikation med J. Havenhand*) så vår rapport kan ej visa figurer utan bara hänvisa till en nyhetsartikel på [SVT](#). I en publikation från Norska Miljödirektoratet ([Borgman et al. 2021](#)) beskrivs en litteraturstudie om Marina värmeböljor i nordiska havsområden. [Meier et al. 2019](#) studerade klimatets påverkan på förekomst av extremhändelser som tropiska nätter, rekordhöga yttemperaturer och ansamlingar med cyanobakterieblomningar i framtida scenarier för Östersjön som kan vara av intresse för allmänhet och förvaltning. Resultaten i både [Borgman et al. 2021](#) och [Meier et al. 2019](#) pekade på att förekomsten av nya värmerekord i ytvattnet kommer att öka i framtiden. [Goebler et al. 2022](#) undersökte data från 1920-talet vid den Finska kusten (nära Tvärminne forskningsstation) och fann att förekomsten av extrema temperaturer (deras [figur 1](#)) ökat vid ytan och botten (30 m) sedan 1990-talet och speciellt mycket sedan 2016. Nya högsta temperaturer noterades även i Eilola (2020, Appendix 2) för tre av de fyra sista åren i tidsserien 2000–2020 från 75 m djup vid Å13 i Skagerrak (Fig.7). Eilola (2020, Appendix 3) beskriver resultat från modellkörningar i Skagerrak baserade på klimatscenarier med fortsatt stora utsläpp (RCP8.5). Modellresultaten visar att förekomsten av höga temperaturer i Skagerraks djupvatten kan öka snabbare än medeltemperaturen speciellt efter mitten av århundradet.

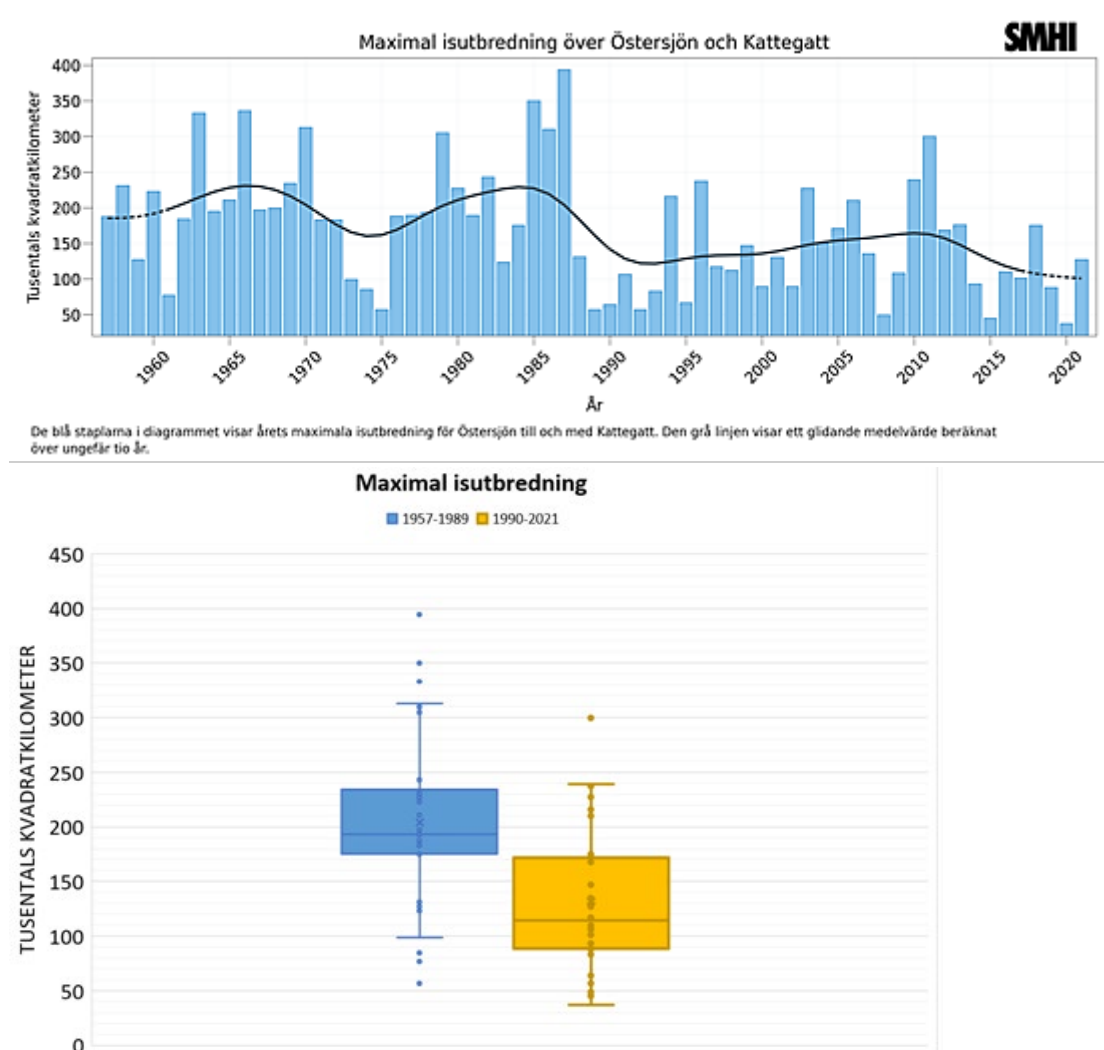


Figur 7. Exempel från Eilola (2020, Appendix 2). Observationer från SHARK under perioden 2000–2020 temperatur °C på 75 meters djup vid station Å13 i östra Skagerrak. Linje och ekvation för linjära regressionen samt p-värde för lutningen visas. Trend för perioden ca 0,00019 °C per dag eller ca 0,69 °C per årtionde.

3.6 Maximal havsisutbredning

Sammanställningen av [Meier et al. 2022](#) visar historiskt signifikant minskande havsisutbredning, istjocklek och kortare issäsonger i Östersjön. Sannolikt kommer maximala isutbredningen,

istjockleken, issäsongens längd och förekomsten av svåra isvintrar att minska i framtiden enligt [EN CLIME faktablad](#). På ca 20 års sikt är den förväntade förändringen av den maximala isutbredningen mindre tydlig i scenario analyserna men på 50 års sikt är signalen tydligare och visar minskad isutbredning och en något mindre mellanårsvariabilitet ([Pemberton et al. 2021](#)). Inget scenario indikerar dock helt isfria vintrar och åtminstone Bottenviken väntas i medeltal bli helt istäckt även i framtiden. [Eilola et al. 2013](#) studerade effekter på Östersjöns biogeokemi från minskad isutbredning i framtida klimat och fann att i områden där isen försvinner ökar vinteromblandning och vågornas höjd samt mängden ljus som kan tränga ner i vattnet (se deras [figur 2](#) och [figur 3](#)). Effekten blir ett fördjupat välomblandat ytskikt, tidigare vårblooming och kraftigare resuspension (uppvirvling) av sediment med ökad transport av näringsämnen från kustzon till de djupare områden. Klimatindikatorn [maximal isutbredning](#) på SMHI (Fig.8) visar hur stor havsisen har varit för Östersjön och Kattegatt. För åren 1957–1987 var medelnivån för den maximala isutbredningen cirka 200 000 kvadratkilometer, medan de senaste dryga 30 åren varit en medelnivå i den maximala isutbredningen på cirka 130 000 kvadratkilometer. Det ser alltså eventuellt ut att ha varit något av ett skifte i isklimatet kring år 1990 (se exempel i Fig.8) men enligt [SMHI](#) är det svårt att se någon tydlig kontinuerlig trend i isutbredningen då det är stor årlig variation. Exempel på [iskartor](#) som visar hur skillnaden t.ex. mellan maximal isutbredning 2020 (deras [figur 2020](#)) (37 000 kvadratkilometer), 2021 (deras [figur 2021](#)) (127 000 kvadratkilometer) och 2010 (deras [figur 2010](#)) (240 000 kvadratkilometer) ser ut. På SMHI [Fördjupad klimatscenariotjänst](#) finns kartor med scenarier för framtida maximal isutbredning (se exempel i Tabell 2). Larsson och Öberg (2022) ger en sammanfattning på [Sverigesvattenmiljö.se](#).



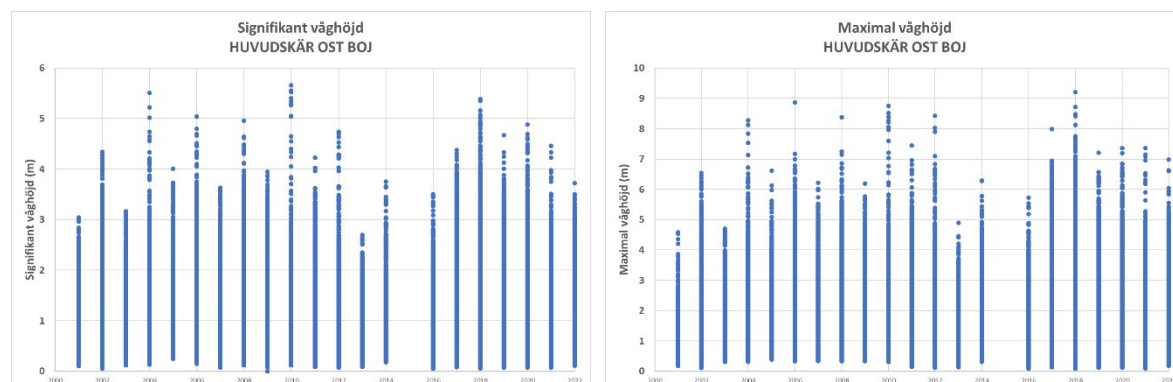
Figur 8. Klimatindikatorn [maximal isutbredning](#) på SMHI (överst). Statistiskt låddiagram för maximal isutbredning för Östersjön och Kattegatt under perioderna 1957–1989 (median 193 000 kvadratkilometer) och 1990–2021 (115 000 kvadratkilometer). Exemplet baserad på data från [SMHI](#).

Tabell 2. Exempel på maximal isutbredning (Sep–Aug) i några havsområden under referensperioden 1976–2005 samt ändring till perioden 2011–2040 (ändring i % visas inom parentes). Data från [SMHI Fördjupad klimatscenariotjänst](#).

Havsområde	Referensutbredning 1976–2005 (km ²)	Ändring RCP4,5 2011–2040 (km ²)	Ändring RCP8,5 2011–2040 (km ²)
Bottenviken	28 000	-1 000 (-4%)	- 9 000 (-32%)
Bottenhavet	51 000	- 23 000 (-45%)	- 44 000 (-86%)
Norra Egentliga Östersjön	17 000	- 13 000 (-76%)	- 17 000 (-100%)
Västra Gotlandsbassängen	12 000	- 10 000 (-83%)	- 12 000 (-100%)

3.7 Vågor

De högsta vågorna observeras i samband med kraftiga vindar. Hur höga vågorna kan bli varierar från plats till plats och beror mycket på botten djupet och havsytans storlek och utsträckning i vindriktningen. Högsta maximala våghöjden på drygt 14 m observerades under stormen Egon i januari 2015 utanför Väderöarna (tabell [SMHI](#)). Det verkar inte finnas några starka trender i maximal eller signifikant våghöjd enligt summering av [Meier et al. 2022](#). Figur 9 visar ett exempel på data från vågmätningar i nordvästra Gotlandsbassängen. I samband med att istäcket eventuellt minskar i framtida klimat kan dock större områden öppnas upp och generellt utsättas för högre vågor på vintern, se t.ex. [Eilola et al. 2013](#).



Figur 9. Exempel på [uppmätta våghöjder](#) (sammanställt årsvis) (signifikant våghöjd till vänster och maximal våghöjd till höger) från bojen vid Huvudskär Ost i nordvästra Gotlandsbassängen nedladdat från [SMHI](#) öppna data. Se beskrivning av signifikant våghöjd på SMHI [vågmätningar](#).

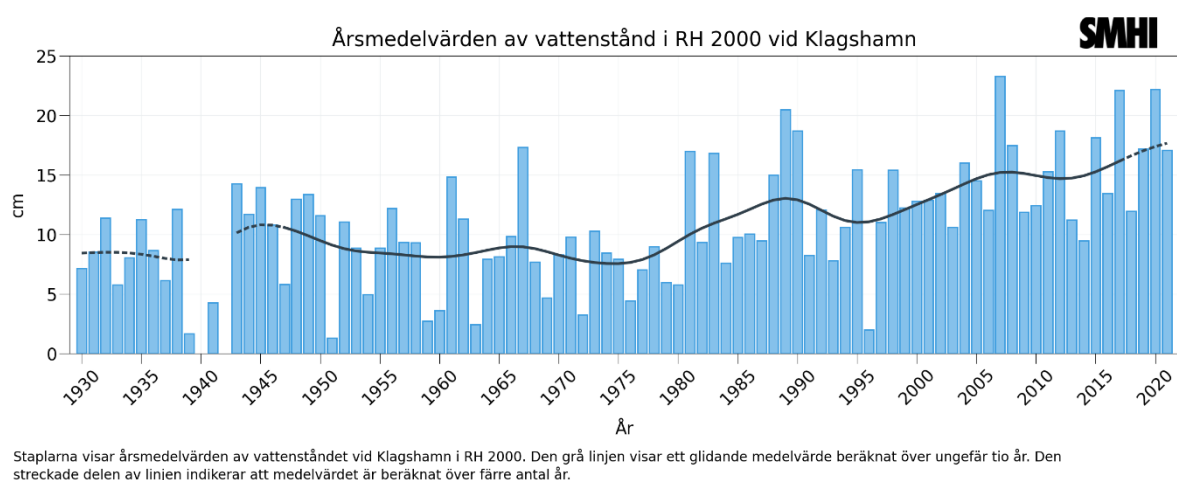
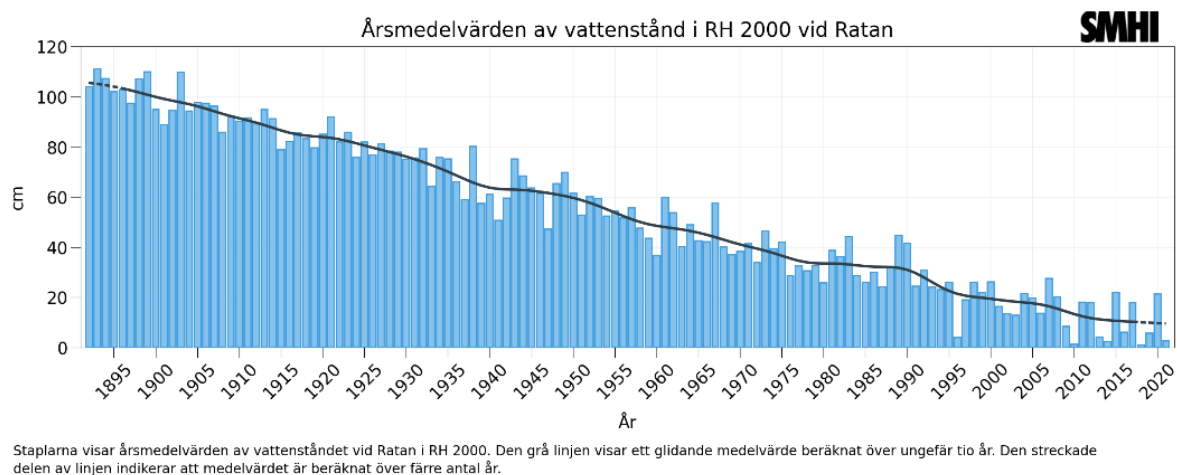
3.8 Strömmar

SMHI har ett faktablad från 2011 (se [länk](#)) som beskriver mätningar och olika typer av havsströmmar i svenska hav där lokala förhållanden kan skilja sig mycket från det öppna havets strömningsmönster. Modeller är viktiga för att skapa överblick av strömmar men modellresultatens kvalitet är beroende på

modelluppbyggnad och dess drivning. På grund av brist på observationer av strömmar är dock validering en svår uppgift ([Placke et al. 2018](#)). [Eilola et al. 2012](#) använde en av modellerna (RCO) som valideras i studien av [Placke et al. 2018](#) för att med en kopplad biogeokemisk modell (RCO–SCOBI) undersöka möjliga förändringar i transportmönster av oorganisk näring (deras [figur 1](#)) och organisk näring (deras [figur 2](#)) i Östersjön orsakade av klimatförändringar. Resultaten visade endast små förändringar i generella cirkulationsmönster, medan utbytet av näringsämnen mellan grunda och djupa områden intensifierades och fosforsänkan i sedimenten försvagades i ett varmare framtida klimat. Nettoeffekten av klimatförändringar och reduktioner av näringstillförsel från land var en ökad nettoimport av löst oorganisk fosfor till grunda områden i Egentliga Östersjön. [Eilola et al. 2014](#) modellerade upptransport av spårämnen från Östersjöns djup (deras [figur 7](#)) och fann att de på grund av transportmönster och omblandningsmekanismer efter ca ett år huvudsakligen vällde upp till ytan längs den svenska kusten och i områden kring södra Gotland. Högsta koncentrationerna syntes efter tillfällena med starka inflöden från Kattegatt.

3.9 Havsvattenstånd

På SMHI beskrivs [stigande havsnivåer](#) och vilka samhällskonsekvenser det kan innebära. [Klimatindikator för havsnivå](#) visar att havsnivån förändras över tid på grund av den pågående klimatförändringen och den långsiktiga landhöjningen (se [figur hos SMHI](#)). Sedan slutet av 1800-talet har den klimatdrivna havsnivåförändringen längs Sveriges kust gjort att havet i medeltal stigit ungefär 15 cm. Av denna höjning har nästan 10 cm skett de senaste 40 åren. Havet kommer fortsätta stiga (Tabell 3) länge till ([Havsnivåhöjning på långa tidsskalor | SMHI](#)) på grund av den globala uppvärmningen (se [figur hos SMHI](#)), vilket får stora effekter på kustnära områden. Baserat på denna data från IPCC:s AR6 rapport har SMHI gjort kommunvisa projektioner som tar hänsyn till regionala processer och landhöjning (se [länk](#)). [Hieronymus och Kalén \(2022\)](#) diskuterar hur man i samhällsplanering kan ta hänsyn till osäkra framtidsprojektioner av både den långsiktiga havsnivåhöjningen samt sporadiska tillfällena med extrema högvattenhändelser (se [länk](#)). Resultaten pekar på att extrema vattenstånd är betydelsefulla att ta hänsyn till för planering i närtid (årtionden) medan den generella havsnivåhöjningen får ökad betydelse på längre tidsskalor. Med ett högre utgångsläge i medelvattenstånd krävs ett mindre bidrag från vädret för att nå samma nivåer som vid dagens högvattenhändelser. Detta gör att nivåer som uppnås ganska sällan idag, kommer att uppnås betydligt oftare på de platser där medelvattenståndet blir högre i framtiden. Effekterna blir olika eftersom processer som påverkar den lokala havsnivåhöjningen skiljer sig mycket åt mellan olika platser. I figur 10 kan man se ”upplevd” vattenståndsförändring i Ratan där landhöjningen motverkat havsnivåhöjningen och i Klagshamn där nästan ingen landhöjning skett. I södra Sverige och framförallt vid Skånes sydkust medför stigande hav redan idag problem medan längs Norrlandskusten kommer landhöjningen fortsätta gå snabbare än havsnivåhöjningen den närmaste framtiden. På uppdrag av MSB har SMHI tidigare genomfört beräkningar av framtida extremnivåer (för scenario RCP8,5) för ett antal platser längs Sveriges kust som presenteras på [MSB:s webbplats](#). Som exempel för Göteborg utanför Älvmynningen erhöles återkomstnivåer på 213 cm (återkomstperiod 100 år) och 220 cm (återkomstperiod 200 år) (se [rapport](#)).



Figur 10. Exempel på vattenstånds förändringar vid Ratan i Bottenviken och Klagshamn i Skåne med landhöjning inkluderad. Diagram nedladdat från [klimatindikator för havsnivå](#).

Tabell 3. [Tabell från SMHI](#) Global havsnivåhöjning. Beräknad framtida höjning av det globala medelvattenståndet (sannolikt intervall) fram till åren 2100 och 2150 baserade på olika utsläppsscenarioer. Havsnivåhöjningarna anges i cm och utgår från medelvattenståndet under referensperioden 1995–2014.

Scenario	Till år 2100	Till år 2150
Mycket lågt (SSP1–1,9)	28 – 55 cm	37 – 86 cm
Lågt (SSP1–2,6)	32 – 62 cm	46 – 99 cm
Medelhögt (SSP2–4,5)	44 – 76 cm	66 – 133 cm
Högt (SSP3–7,0)	55 – 90 cm	89 – 165 cm
Mycket högt (SSP5–8,5)	63 – 101 cm	98 – 188 cm

3.10 Skiktning

Skiktningen i Östersjön karakteriseras typiskt av tre skikt. Ytlaget, det kalla mellanliggande lagret och det djupaste lagret. Som nämnt i stycket om salthalt är densitetslagren åtskilda av pyknokliner, en säsongsbetonad termoklin och en djupare liggande permanent haloklin. I Bottniska viken saknas permanent haloklin. I Västerhavet är skiktningen framförallt styrd av skillnader i salthalt mellan det bräckta ytvattnet och det salta djupvattnet. Sommartid, när vattnet närmast ytan värms upp av solen, skiftar sig vattnet också efter temperatur. Östersjön har blivit mer skiktad under de senaste 35 åren ([Liblik and Lips \(2019\)](#)). Den övre pyknoklinen är starkare på grund av ökad temperatur och minskad salthalt i övre lagret medan haloklinen är starkare på grund av högre salthalt i det djupaste lagret (deras [figur 5](#)). Temperaturen i det djupaste lagret har ökat i takt med ytlaget men det påverkar inte densiteten nämnvärt i jämförelse med salthaltsförändringarnas påverkan på densiteten. Förändringar i mellanlagret är små. Endast svaga trender i skiktning kunde skönjas i Bottenhavet och Bottenviken (deras [figur 5](#)). Eftersom salthalt även är dominerande för skiktningen i Nordsjöområdet hindrar problem med hög variabilitet i salthalt på korta tidskalor möjligheten att fastställa långa trender där ([NOSCCA](#)). Framtida förändringar av salthaltsberoende skiktning är osäkra. Som exempel på möjliga framtida effekter visade modellresultaten för RCP8,5 scenariot från [Gröger et al. \(2019\)](#) på en generell förstärkning av skiktningen på sommaren med en grundare övre pyknoklin i Östersjön medan den blev djupare i Skagerrak. Det var främst temperaturen som förstärkte skiktningen i Östersjön i deras modellresultat medan salthalten var viktigare för skiktningen i Skagerrak. Salthalten minskade speciellt i södra Skagerrak.

3.11 Uppvällning

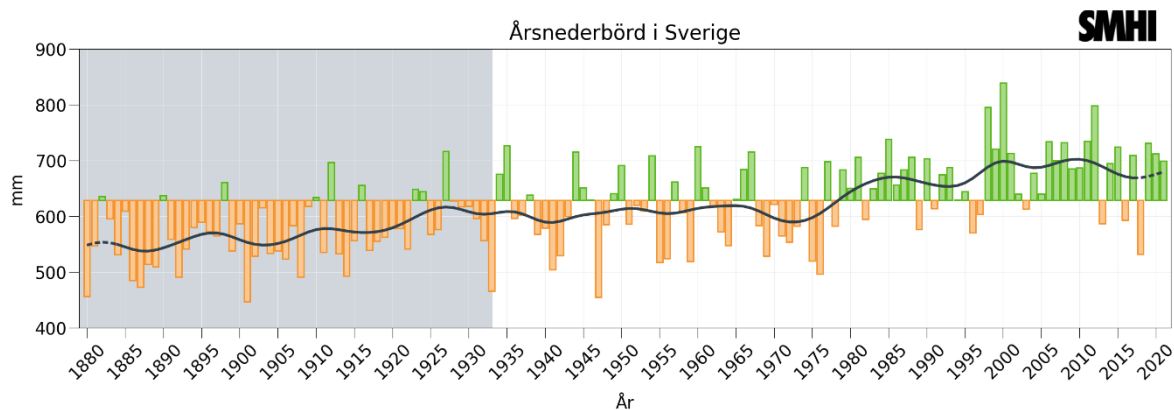
Vinddriven uppvällning vid kusten (KU) lyfter upp djupare och ofta kallare och saltare vatten till havsytan. [Zhang et al. 2022](#) använde en utvecklad metod för att med stöd av satellitdatabaserad SST kartlägga förekomsten av KU i Östersjön. De fann procentandel KU-förekomst på upp till 10 % i västra Egentliga Östersjön och Bottenviken samt vid Finska vikens norra kust. Kusten utmed Stockholms skärgård uppvisade den högsta totala förekomsten på 12 % (deras [figur 6A](#)). Tillfällen med KU var säsongsberoende och högst under perioden maj till oktober (deras [figur 7](#)) men resultaten visade inga generella trender under perioden 2002–2020. Den högsta förekomstprocenten på upp till 30 % i september och oktober noterades särskilt i västra Egentliga Östersjön. Man kan notera likheter med modellerad upplyft av spårämnen från Östersjöns djup på grund av uppvällning i [Eilola et al. 2014](#). De väst- till östliga transekterna i slutet av 2003 och 2006 (deras [figur 10c](#) och [10d](#)) visar tydliga exempel på hur spårämnet stiger från djupvattnet mot ytan vid den svenska kusten vilket diskuterades ovan under stycket om Strömmar. [Zhang et al. 2022](#) nämner dock problemet med moln speciellt på vintern vilket försvårar deras satellitdatabaserade analyser. Eventuella framtida förändringar i uppvällning är osäkra enligt [Meier et al. 2022](#).

3.12 Färskvattentillförsel

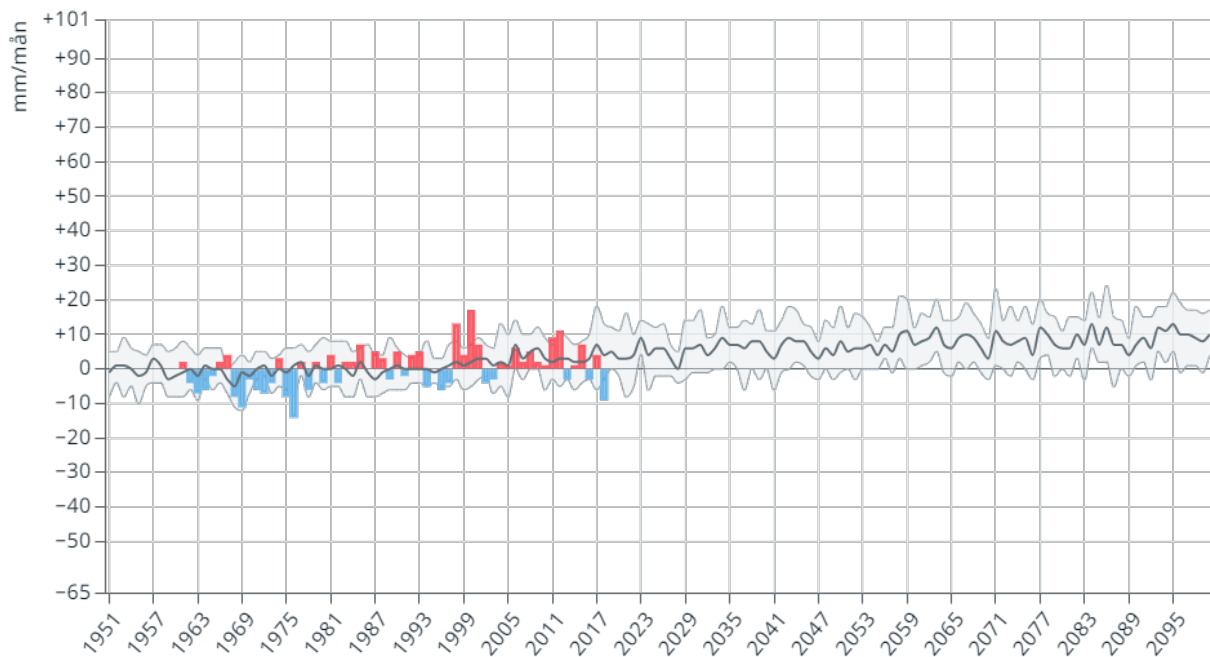
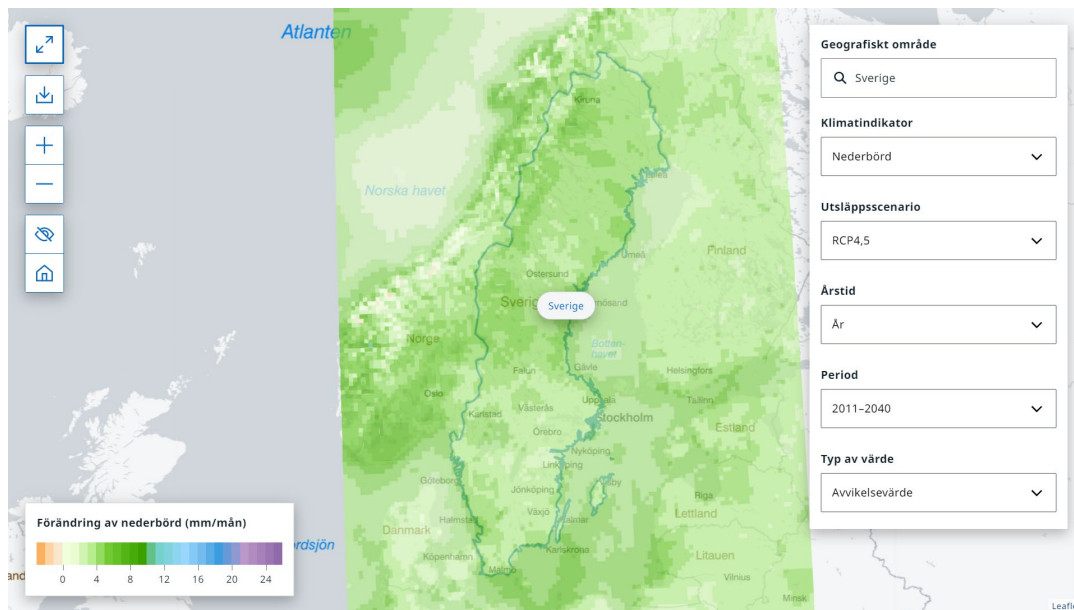
SMHIs [klimatindikator nederbörd](#) (Fig. 11) visar att utjämnad årsmedelnederbörd för Sverige låg omkring 600 millimeter fram till mitten av 1970-talet. Därefter har årsnederbörden ökat och ligger nu närmare 700 millimeter enligt den utjämnade linjen. Någon tydlig långsiktig trend när det gäller indikatorn för [maximal dygnsnederbörd](#) sett över hela det svenska stationsnätet är dock svårare att se.

Scenarier från SMHI [Fördjupad klimatscenariotjänst](#) (Fig. 11) indikerar en ökning på ca 5 mm/månad för perioden 2011–2040 jämfört med referensperioden (1971–2000) då medelnederbörden för hela Sverige var 58 mm/månad. Resultatet är samma för både scenario RCP4,5 och RCP8,5. Förändringar i avrinningen från land till HaV kan studeras från vattenföringskartornas kustområden (Fig. 12). Avrinningen från land visar stora variationer i tiden och inga signifikanta trender i historiskt rekonstruerad avrinning har noterats i Östersjön ([Meier et al. 2022](#)) eller i större floder i Nordsjöområdet ([NOSCCA](#)).

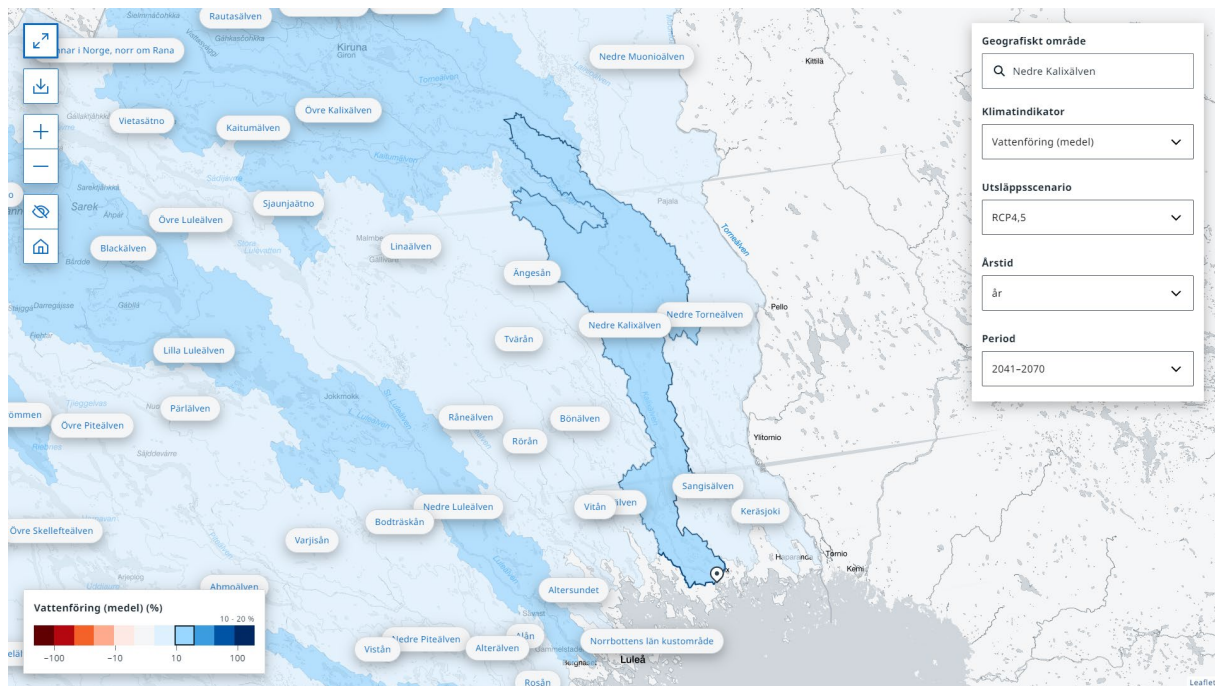
SMHIs sidor med information om [vattenföring](#) visar länkar till t.ex. klimatkartor som illustrerar den normala årsavrinningen (mm/år) (se [figur hos SMHI](#)) samt medelvärden över avrinning (mm/år) och utflöde (km³/år) till havet (se [figur hos SMHI](#)) för den av WMO definierade normalperioden 1961–1990. [Lindström 2022](#) beskriver för nederbörd, temperatur, vattentillgång och höga flöden med betydelse för kraftindustrin. Analysen summerar att storleken och frekvensen av höga flöden i naturliga vattendrag är relativt stabil. Vinterflödena är något högre och vårfloeden inträffar aningen tidigare än förut. Resultaten (se Fig. 13) visar att avrinningen till havet de sista fyra årtiondena varit ca 8 % högre än under jämförelseperioden. Medelavrinningen under den nya normalperioden 1991–2020 var högre än under 1961–1990 med störst ökning i norr enligt [Lindström 2022](#). Resultaten med framtida projektioner (RCP8,5) på avrinning från E-HYPE modellen ([Bartosova et al 2019](#)) visade att avrinningen till Östersjön under 2050-talet (medel 2036–2065) ökade mellan 4 % och 25 % med en genomsnittlig ensembleökning på 16 %. Flöden under vinter och vår i några representativa älvar ökade och visade på tidigare toppflöden under 2050-talet (se Fig.2 i [Bartosova et al 2019 Supplement](#)). Kartor med framtida projektioner på avrinning och näringstillförsel med E-HYPE modellen finns att studera på ”Hypeweb [showcases](#)” sidan [Nutrient Inflow To The Baltic Sea - HypeWeb \(smhi.se\)](#).



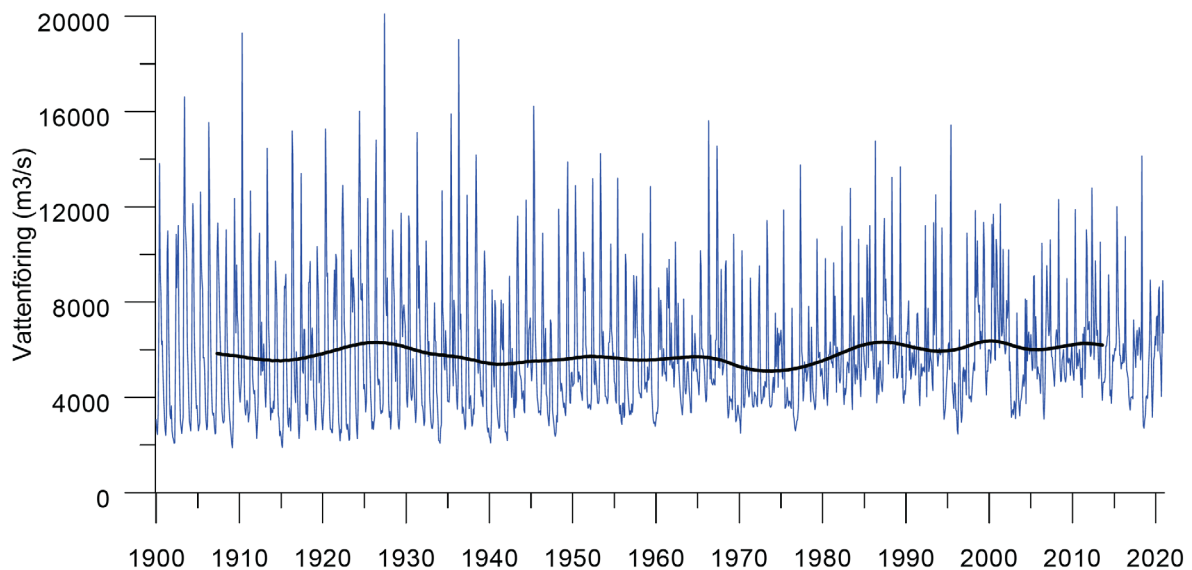
Staplarna i diagrammet visar summerad nederbörd per år. Gröna staplar visar högre och orangea visar lägre nederbörd än medelvärdet för normalperioden 1961-1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år. Observationer innan år 1933 anses ha lägre tillförlitlighet än senare observationer. Detta markeras med en grå skuggning i diagrammet. Det bör iakttas försiktighet vid eventuella klimatologiska slutsatser baserat på denna tidsperiod.

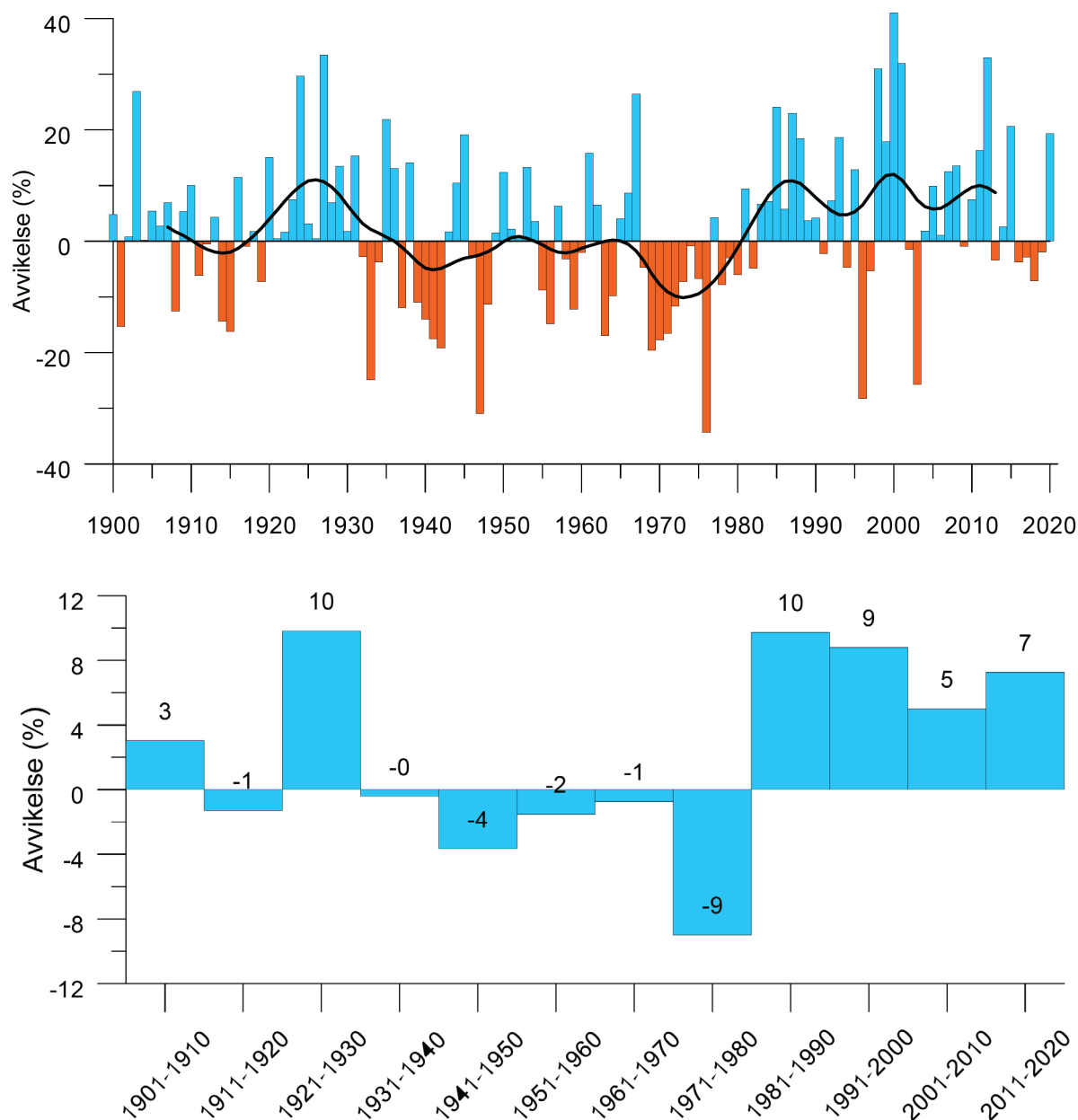


Figur 11. Exempel på diagram årsnederbörd (mm) från SMHI [klimatindikator nederbörd](#) (överst) samt karta (mitten) och diagram (nederst) för ett scenario framtida förändring av medelnederbörd (mm/mån), Sverige, RCP4,5, Avvikelsevärde för helår, (mitten och nedre) från SMHI [Fördjupad klimatscenariotjänst](#).



Figur 12. Exempel från SMHI [Fördjupad klimatscenariotjänst](#) på framtida förändring av vattenföring. Avrinning från land till hav ses i kustområdena som i det markerade exemplet från Kalixälven uppvisar en ökning på 10–20%. Beräknad förändring av Vattenföring (medel) % för perioden 2041–2070 jämfört med 1971–2000. Kartan baseras på ett medelvärde av en ensemble av ett antal klimatscenarier för scenario RCP4,5.





Figur 13. Summerad vattenföring från hela Sveriges yta till havet (månadsvärden överst). Motsvarande årliga avvikelser från medelvärdet (1961–1990) (mitten) samt summering för 10-års perioder (nederst). Från [Lindström 2022](#).

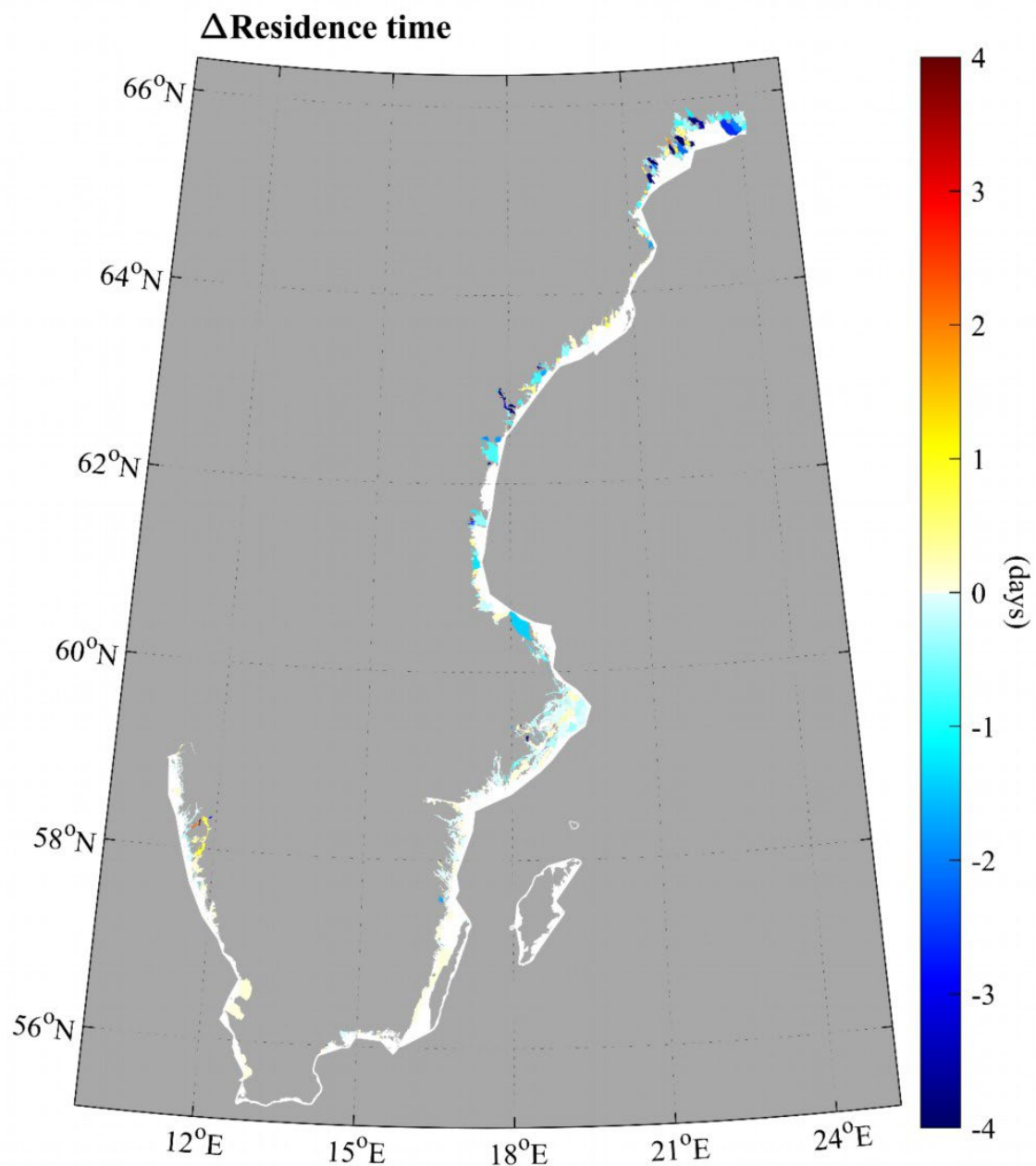
3.13 Uppehållstider

Havs- och vattenmyndighetens rapport 2012:19 – God havsmiljö 2020 ger en beskrivning av uppskattade uppehållstider i haven runt Sverige. Beskrivningar av klimatförändringarnas påverkan på uppehållstider saknas. Dock har SMHI:s [kustzonsmodell](#) använts för att undersöka påverkan från svensk reglering av älvar ([Algotsson och Edman 2019a](#), [Algotsson och Edman 2019b](#), se reglerade älvar i [figur från SMHI](#)) som i omfattning potentiellt kan jämföras med de förväntade effekterna av klimatförändringarnas effekter på oreglerade flöden i slutet av detta sekel (Moa Edman SMHI, personlig kommunikation). Regleringar omfördelar flödet över året men påverkar i princip inte totala volymflödet. Effekterna från vattenregleringarna på uppehållstid var generellt relativt små i

modellexperimentet (Tabell 4) men lokalt kan de ha orsakat signifikant ökade uppehållstider om man ser på hur det skulle vara om regleringar togs bort (Fig. 14). På Vd västkusten kan man dock notera att uppehållstiderna minskat något på grund av regleringarna. Inom kustzonen påverkas även vattenutbytet mellan olika vattenförekomster så effekten av regleringar påverkar inte bara vattenförekomster med direkt flodtillförsel. Detta kan ge en indikation att möjliga effekter från klimatförändringar på uppehållstider i kustzonen generellt kan vara små. Effekter av hur havsnivåförändringar och landhöjning kan påverka uppehållstider har dock inte undersökts men kan förväntas vara betydande i områden som är kopplade till utsjön via grunda sund.

Tabell 4. Genomsnittlig och maximal absolut förändring i uppehållstid (%) i svenska kustvattendistrikt på grund av reglerad vattenföring.

	Genomsnittlig förändring % i vattendistrikt	Maximal förändring % bland vattenförekomsterna i respektive vattendistrikt (absolutvärde)
Bottenviken	4,8	590
Bottenhavet	2,1	370
Norra Östersjön	0,6	140
Södra Östersjön	0,1	420
Västerhavet	-0,7	590



Figur 14. Karta med modellerad förändring i uppehållstid (antal dagar) i svenska kustvattenförekomster utan regleringar i vattenföring, jämfört med hur det är med nuvarande reglerade älvar. (Notera att kartan visar hur det skulle vara om regleringar togs bort medan siffrorna i Tabell 4 visar vilka effekter som regleringarna har haft på uppehållstiderna.)

3.14 Havsförurning och pCO₂

Ökad koldioxidhalt (CO₂) i atmosfären leder långsiktigt till en ökning av surhetsgraden (minskat pH) i havet medan biologiska processer ger stora säsongsmässiga variationer i pH (se t.ex. [Havenhand 2012](#) som diskuterar möjliga effekter på ekosystemen i Östersjön). Tillförsel av organiskt material från land påverkar också karbonatsystemet genom att materialet mineraliseras i havet och bildar därmed CO₂. Norra Östersjön har låg alkalinitet (buffertförmåga A_T) vilket medför potentiellt högre känslighet för förurning vilket dock delvis motverkas då alkaliniteten har ökat med ökad färskvattentillförsel. Resultat från mätningar inom den nationella övervakningen [Wesslander et al. \(2020\)](#) var osäkra på grund av dålig täckning i data samt osäkerheter kring äldre data. Stor säsongsbetonad pH-variation, ökande buffertförmåga som motverkar förurning, samt variabel biologisk produktion innebär att trend i havsförurning inte är mätbar i centrala och norra Östersjön. I de danska sunden har dock en pH minskning med 0.04 pH-enheter per 10 år identifierats i kustvatten under perioden 1972–2016 enligt sammanställningen av [Meier et al. 2022](#). Havsförurning sker i alla OSPAR-regioner med minskningar i pH-värden som varierar mellan 0,011 och 0,33 pH-enheter per 10 år (enligt opublicerat utkast till OSPAR rapport, personlig kommunikation med Philip Axe). En diskussion om havsförurning i Västerhavet och klimatförändringarnas och havsförurningens påverkan på koraller i svenska marina miljöer finns i HaVs redovisning av [Regeringsuppdrag 2020](#) samt i sammanställningen av Eilola (2020, Appendix 1). I nordost Atlanten indikerades en minskning i pH med ca 0,024 pH-enheter per 10 år i ytan (1985–2008) och ca 0,006 pH-enheter per 10 år i djupvattnet under 500 m djup (1994–2008). Kattegatts vintervatten indikerade minskande linjär trend i ytan på 0,03 pH-enheter per 10 år från mitten på 1960-talet. Svenska pH data från 100 meters djup i Skagerrak (2007–2019) indikerade minskande trend på 0,077 pH-enheter per 10 år. Norska pH data (2010–2019) från 600 meters djup i Skagerrak indikerade minskande linjär trend på 0,08 pH enheter per 10 år. Anledningen till den snabbare minskningen i Skagerraks djupvatten är ej utredd men kan bero exempelvis på mineralisering av organiskt material.

Det är bl.a. skillnaden mellan koldioxidens partialtryck (pCO₂) i atmosfär och havsyta som bestämmer utbytet av CO₂ som varierar mycket både i rum och tid framförallt på grund av fluktuationer i havet då pCO₂ i atmosfären är relativt stabil i jämförelse. [Honkanen et al. 2021](#) studerade pCO₂ vid den Finska forskningsstationen vid Utö som visade att mätningar med hög upplösning behövs för att få bra flödesuppskattningar eftersom framförallt biologiska processer skapar stora fluktuationer i pCO₂. Tillfällen med uppvällning hade också mycket stor effekt på pCO₂. Kolbalansen i havet är komplex med flera inblandade kemiska komponenter som [Havenhand 2012](#) har inlagt i en ”faktabox” (se [länk](#)) som beskriver hur upptag av CO₂ i havet påverkar förurningen. [Gustafsson and Gustafsson 2020](#) studerade förurningens känslighet i Östersjön för olika möjliga påverkansfaktorer i framtiden. Resultaten visade att förändrad atmosfärisk koldioxidhalt kommer att ha störst betydelse för förurningen. Effekter från förändring i atmosfären visar sig snabbt (månad) medan effekter från förändrad landtillförsel påverkas av den långa uppehållstiden i Östersjön (>30 år). Framtida scenarier för A_T är osäkra ([Meier et al. 2022](#)) medan alla scenarierna med ökad CO₂ i atmosfären orsakar ökad pCO₂ och potentiellt även ökad förurning.

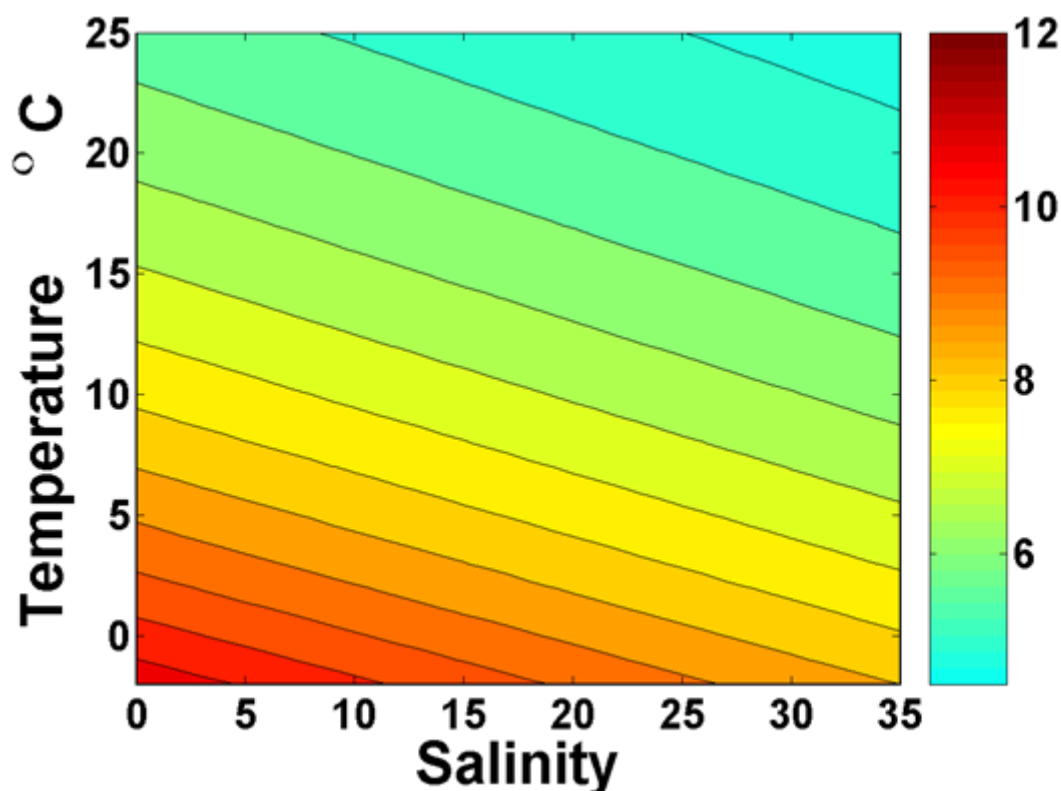
3.15 Syrehalt i vattnet

[Almroth et al. 2021](#) studerade utbredning av syrebrist i olika delar av Östersjön 1960–2020. Resultaten (deras [figur 2](#)) tydde på att det skett regimskiften mot ökade syrefria områden i Gotlandsbassängerna vid 1900-talets slut. Djupvattnen i Gotlandsbassängerna är idag hypoxiska, och i Västra Gotlandsbassängen till och med helt syrefritt, ända upp till den permanenta haloklinen (deras [figur 4](#)). Det indikerar att havsområdet närmat sig ett värsta scenario för omfattningen av hypoxiska områden eftersom vattenkolumnen ovanför haloklinen vanligtvis blandas om och syresätts från luften varje vinter. Syrehalterna i vattnet påverkas av många faktorer där t.ex. högre temperaturer ökar mikrobiell

aktivitet och respiration samt minskar syreflöden mellan luft och vattenyta eftersom syrets löslighet i vattnet avtar (Fig.15). Även salthalten påverkar lösligheten av syre i vattnet, fast i mindre grad. Bottenvattnets syreförhållanden påverkar näringsutbytet i gränsytan mellan sediment och vatten och syrebrist kan leda till ökande fosforutsläpp och avlägsnande av kväve med förändrade N/P kvoter som följd ([Vahtera et al. 2007](#)).

I Appendix 5 sammanställs resultat från mätningar i öppna havsområden inom den nationella övervakningen ([Wesslander et al. \(2020\)](#)) samt data från SMHIs [kustzonsmodell](#) för perioden 1991–2021. Resultaten indikerar att utvecklingen i bottenvattnen längs kusten skiljer sig från den utveckling som syns i bottenvatten i de öppna havsområdena. Vd Norra Östersjöns, Vd Bottenhavets och Vd Bottenvikens kustområden indikerar inga signifikanta trender. Bottenvattnet i de öppna havsområdena av Norra Östersjön och Bottenhavet visar däremot en snabb minskning ca 0,7–0,8 ml/l per årtionde av syrehalterna på sommaren under perioden efter 1994. Eftersom syret tar helt slut i Egentliga Östersjöns bottenvatten används negativa syrevärden för att följa utvecklingen av syrebehovet då sulfat förbrukas och giftigt svavelväte bildas under syrefria förhållanden. ”Negativt syre” motsvarar den mängd syre som behövs för att åter oxidera svavelvätet till sulfat. Minskande negativa syrehalter innebär ett ökande uppdämt syrebehov och indikerar därmed även försämrade syreförhållanden. I Skagerraks och Kattegatts bottenvatten är trenden på längre tidsskala ca 0,1 ml/l per årtionde medan ingen signifikant trend kan noteras efter 1994. Vd Södra Östersjön och Vd Västerhavets kustområden indikerar minskade syrehalter i bottenvattnet (respektive ca 0,26 och 0,39 ml/l per årtionde för årsmedelvärdet) och upp till ca 0,5 ml/l per årtionde under våren på västkusten. Bottenvattnet i västra Gotlandsbassängen visade en större minskning (0,9 ml/l per årtionde under sommaren) än kustområdet. I Vd Västerhavet visade kustområdet nästan fyra gånger snabbare minskning av syrehalterna än de långa trenderna från Kattegatts och Skagerraks djupvatten.

Klimatförändringar kan påverka syreförhållanden i djupområden genom förändringar i inflödesdynamik och vertikala omblandningsprocesser vilket påverkar transport av syre till djupet. Förändringar i vattnets uppehållstid kan också påverka djupvattnet. Modellerade framtidsprojektioner med olika scenarier visar dock att utvecklingen av syreförhållanden i Östersjöns djupvatten huvudsakligen beror på näringsbelastningen från land vilket påverkar primärproduktion och sedimentering av organiskt material som förbrukar syre när det bryts ned. Med hög tillförsel av näringsämnen från land kommer påverkan från klimatförändringarna att ha en betydande negativ effekt på syreförhållandena, men om belastningen hålls låg kan klimateffekterna bli små eller försumbara (se [Meier et al. 2022](#)). På SMHI Fördjupad klimatscenariotjänst kan man studera framtida projektioner av förändrade bottensyrehalter (se [länk](#)) i Östersjön.



Figur 15. Syremättad (färgskala i ml/l) vid olika temperatur och salthalt. Baserad på formuleringar som används för RCO–SCOBI modellen (se referenser i [Eilola et al 2009](#)).

3.16 Organiskt kol, blått kol och brunifiering

Organiskt kol ingår i en blandning av olika organiska material i havet med varierande grad av näringsvärde och med olika ålder och ursprung som påverkas av olika processer. Organisk kol som begravs i sedimenten fungerar också som en betydelsefull sänka i kolets kretslopp, även kallat blått kol (Blue Carbon) då koldioxid ansamlas genom biologisk produktion speciellt i världshavens kustekosystem.

Förutom marint partikulärt kol från primärproduktionen, resuspenderat partikulärt organiskt kol från sedimenten och partikulärt kol från landtillrinning behöver man ta hänsyn till löst organiskt kol (Dissolved Organic Carbon; DOC) och dess ljusabsorberande del (Colored Dissolved Organic Matter; CDOM). CDOM påverkar vattnets färg (brunifiering) och därmed siktdjupet (Secchidjup) vilket behöver tas i beaktande t.ex. vid statusklassning (se [Harvey et al. 2022](#)). Ökad brunfärgning av sjöar och vattendrag som beror på ökande koncentrationer av DOC ([de Wit et al. 2016](#)) och järn ([Kritzberg et al. 2020](#)) har rapporterats under de senaste decennierna och kommer att öka i ett blötare klimat ([de Wit et al. 2016](#)). [Kritzberg et al. 2020](#) studerade bakomliggande drivkrafter och konsekvenser av ökad brunifiering för ekosystemtjänster samt potentiella åtgärder för att minska brunifiering av svenska sjöar och vattendrag. Som underlag för att kunna följa eventuella framtida förändringar gjorde [Sheffold and Hense \(2020\)](#) en uppskattning av kolinnehåll i 18 grupper av levande och dött material från fisk till sediment i Östersjön (deras [figur 5](#)). Det totala organiska kolet (TOC) i Östersjöns ekosystem uppgår till 440 ± 40 Mt enligt deras beräkningar. De levande bestånden står för 1,2 % av TOC medan de icke-levande grupperna står för cirka 98,8 % av TOC (79,1 % hittas i sedimentet, 18,7 % i DOC och 1 % i partikulärt organiskt kol).

Det lösta organiska materialet (DOM) har betydelse som energi- och näringskälla för bakterier och primärproducenter. Det kan också sedimentera genom flockulering vid flodmynningsområden och påverka produktion och syreförbrukning i kustsediment. [Hoikkala et al. 2015](#) ger en överblick av DOM- och DOC-dynamik i Östersjön och presenterar konceptuella modeller för flödet av DOC från flodtillförsel och primärproduktion till olika sänkor i systemet (deras [figur 3](#)). CDOM i Östersjön har huvudsakligen sitt ursprung i organiskt material från land men dess relation till DOC varierar mellan olika platser och olika tider på året samt med avstånd från flodmynningar där DOC och CDOM tillförs ([Harvey et al. 2022](#), se t.ex. deras [figur 6](#)). Tillförsel av kol och CDOM från land påverkas av klimatförändringar tillsammans med förändrad färskvattentillförsel till havet. [Frigstad et al. 2023](#) studerade effekter på ekosystemen i norska kustområden i Skagerrak på grund av ökad flodtillrinning (1990–2016) som orsakat ökade koncentrationer av totalt suspenderat material och partikulärt kol, som de relaterade till ”kustzonsförmörkelse” (coastal darkening). Det orsakade försämrat status för hårbottenlevande kolonier och grundare utbredning av flera typer av makroalger. [Fleming-Lehtinen and Laamanen 2012](#) studerade siktdjupsmätningar i Östersjön och fann att vattnets genomskinlighet minskat under de senaste 100 åren (se även [Dupont and Aksness 2013](#)) och att minskningen snabbats på i de norra havsområdena. I södra Östersjön kunde viss ökning i siktdjup ses under senare tid. Till viss del kunde de relatera siktdjupet till klorofyll-a i plankton. Resultat från [Opdal et al. 2019](#) visade att försämrat siktdjup i Nordsjön under 1900-talet sannolikt berodde på ökade mängder av suspenderade partiklar och/eller DOM i vattnet och att det kan ha orsakat en senare start på vårbloomingen i centrala Skagerrak (deras [figur 3](#)). [Andersson et al. \(2015\)](#) diskuterar konceptuellt hur klimatförändringar kan påverka näringsväven och ekosystemet i Bottniska viken (deras [figur 3](#)) och Egentliga Östersjön (deras [figur 4](#)) där ytterligare brunifiering på grund av ökad flodtillförsel kan ha negativa konsekvenser i de nordliga vattnen ([Bandara et al. 2022](#)).

3.17 Näringsämnen fosfor och kväve

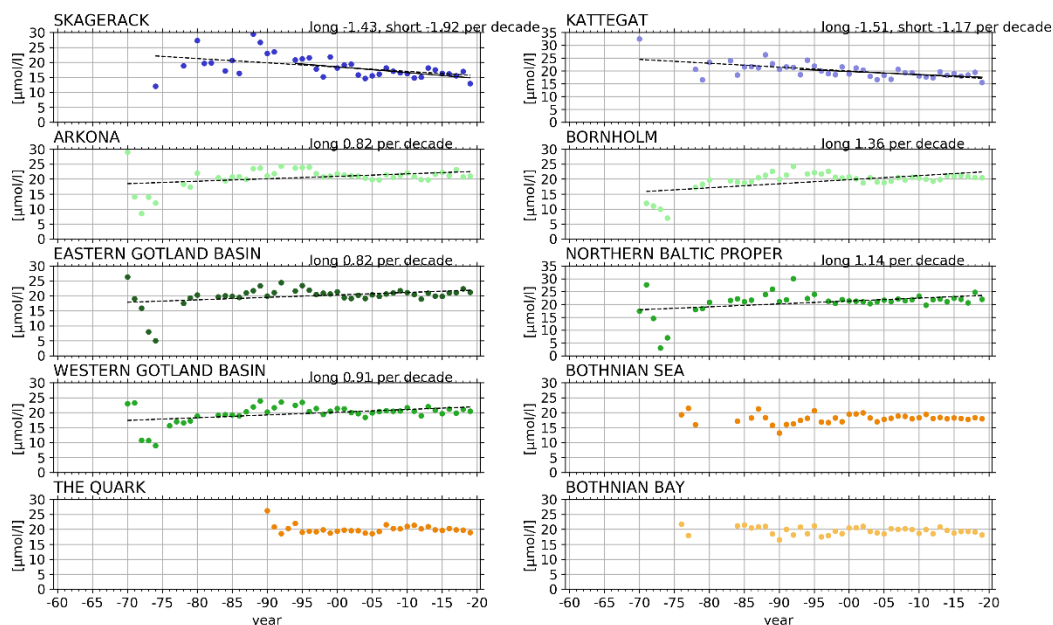
Enligt sammanställningen av [Kuliński et al \(2022\)](#) (deras [figur 2](#)) har älvarnas näringsbelastning till Östersjön generellt minskat, speciellt sen omkring år 2000. Idag bidrar kustnära punktkällor med relativt små mängder näringsämnen jämfört med älvarna, men de har varit mycket stora bidragsgivare till övergödning tidigare. Både i Egentliga Östersjön och i Danska sunden och Kattegatt uppskattar man att dagens kustnära punktkällor bidrar med mindre näringsämnen än de gjorde år 1900. EN CLIME (se [faktablad](#)) summerar att man inte kan separera klimatförändringarnas påverkan på kväve och fosforpooler eftersom eventuella effekter av uppvärmning och havsnivåhöjning döljs av påverkan från förändringar i näringsbelastning och bottenvattnets syrenivåer. Enligt faktabladet har kvävekoncentrationerna generellt minskat i de flesta Östersjöbassänger sedan 1990 medan fosforinnehållet har varierat utan trend.

Figurer från [Wesslander et al. \(2020\)](#) visar att den långa tidseriens trend för totalkväve (Fig.16) är signifikant ökande i Egentliga Östersjön medan den minskar i Skagerrak och Kattegatt. I Bottniska viken saknas signifikanta trender. Efter 1994 saknas indikation på signifikanta trender för totalkväve i Östersjön medan Skagerrak och Kattegatt fortfarande indikerar minskande trender. Löst oorganiskt kväve minskar efter 1994 i Skagerrak och Kattegatt ($1,3\text{--}1,4\ \mu\text{mol l}^{-1}$ per årtionde), i södra och västra delen av Egentliga Östersjön ($0,3\text{--}0,6\ \mu\text{mol l}^{-1}$ per årtionde) samt i Bottenviken ($0,5\ \mu\text{mol l}^{-1}$ per årtionde). Östra och Norra Egentliga Östersjön samt Bottenhavet indikerar inga signifikanta trender i löst oorganiskt kväve. Norra Egentliga Östersjön indikerar en ökande långsiktig trend men efter 1994 syns det ingen signifikant trend i löst oorganiskt kväve där heller. Egentliga Östersjön och Bottenhavet visar signifikant ökande fosfat och totalfosforhalter i den långa tidsserien. Efter 1994 indikerar alla områden utom Skagerrak signifikant ökande trender i totalfosfor med $1,1\text{--}1,9\ \mu\text{mol l}^{-1}$ per årtionde i Egentliga Östersjön och Bottenhavet, $0,8\ \mu\text{mol l}^{-1}$ per årtionde i Kattegatt och $0,2\ \mu\text{mol l}^{-1}$ per årtionde i Bottenviken. Efter 1994 indikerar Egentliga Östersjön och Bottenhavet signifikant ökande trender

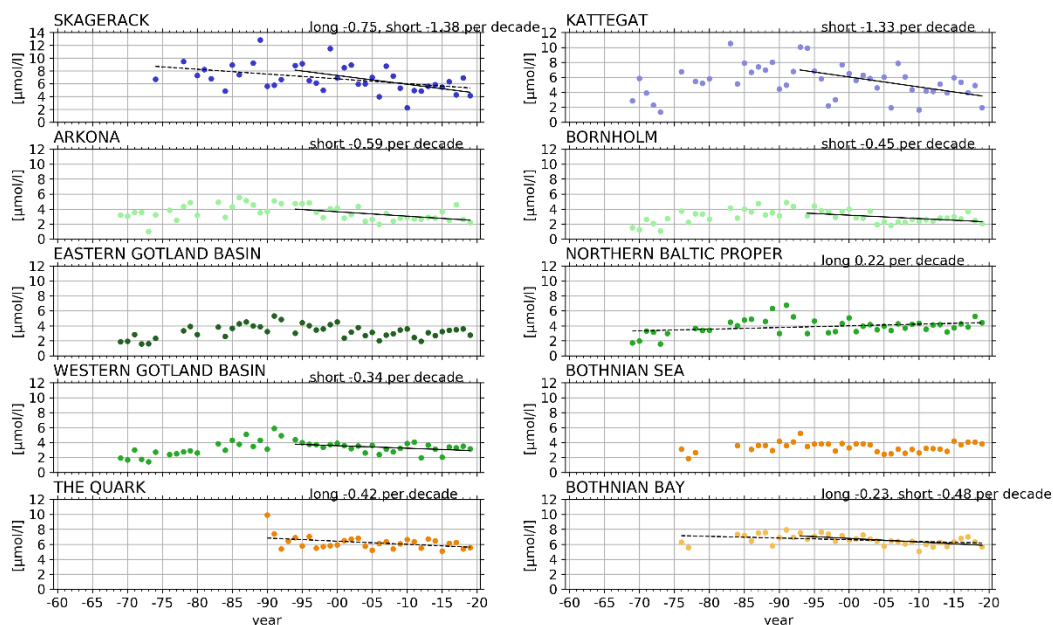
(0,8–1,1 $\mu\text{mol l}^{-1}$ per årtionde) i fosfat. Kattegatt och Bottenviken saknar trend i fosfat efter 1994 medan Skagerrak visar en negativ trend.

I kapitlet om strömmar och maximal isutbredning visas att transporten av organiska näringsämnen från grunda till djupa områden intensifieras i ett varmare framtida klimat samt att i områden där isen försvinner fås kraftigare resuspension och ökad transport av näringsämnen från grunda till djupa områden. Dessa klimatprojektioner baserades på modeller där detaljerade processer i kustzonen saknas, även om de viktigaste biogeokemiska processerna var beskrivna med bästa dåvarande kunskap. Vissa typer av kustområden som t.ex. större skärgårdar eller laguner fungerar ofta som filter (se t.ex. [Edman et al. 2018](#)) som fångar upp näringsämnen och kol ([Carstensen et al. 2020](#)). I kustzonen tillkommer bl.a. bottenlevande växter och djur som har betydelse för systemets funktioner. [Kuliński et al \(2022\)](#) skriver dock att det är svårt att gissa hur klimatförändringar kan påverka dessa komplicerade system och deras filterförmåga. Filterförmågan beror på processer som denitrifikation och kvarhållning samt begraving av fosfor i sedimenten vilka i sin tur beror på många andra faktorer. De föreslår att det endast kan studeras med kopplade hydrodynamiska och biogeokemi-biologimodeller liknande den som [Edman et al. 2018](#) använde med vidareutveckling av beskrivningar för viktiga huvudprocesser.

Total Nitrogen winter [$\mu\text{mol/l}$] 0-10 m

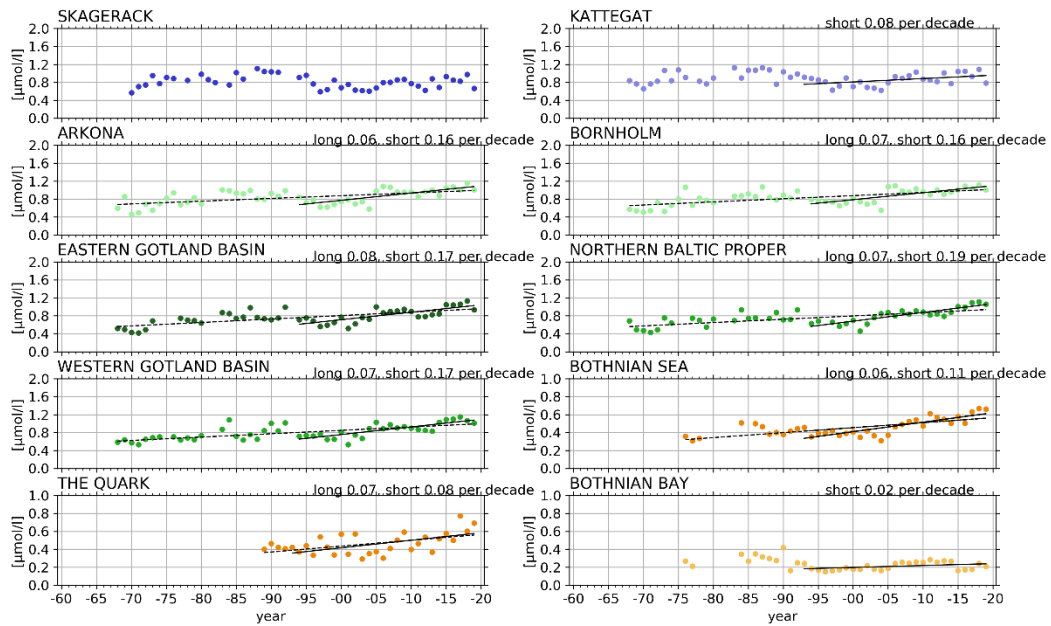


DIN winter [$\mu\text{mol/l}$] 0-10 m

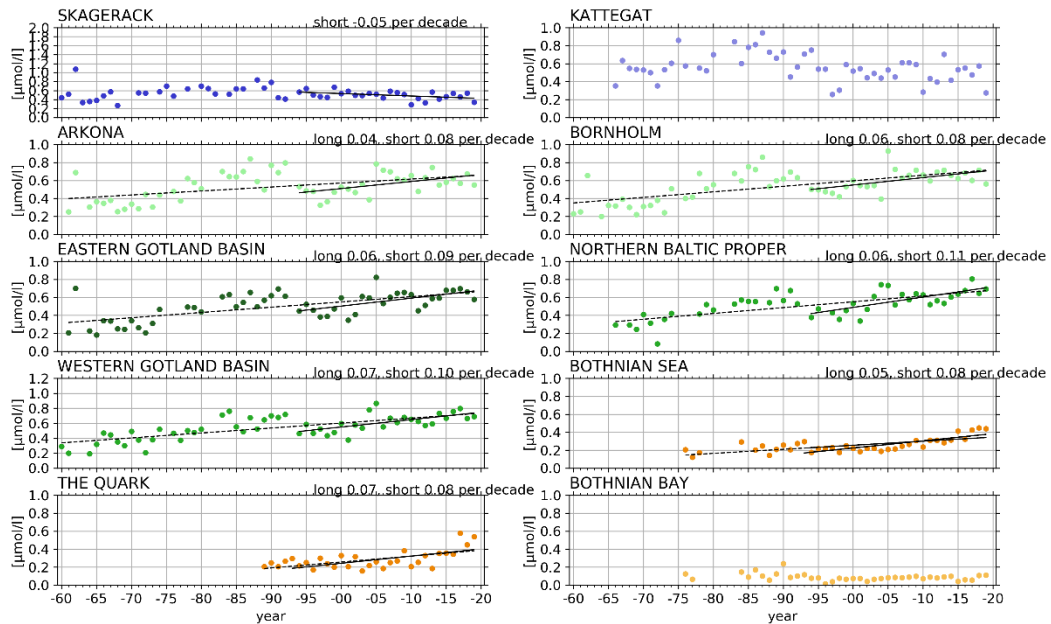


Figur 16. Figurer från [Wesslander et al. \(2020\)](#). SMHI uppskattade trender för totalkväve (överst) och löst oorganiskt kväve (nederst) i ytvattnet (0–10m) under vintern. En linje visas när p-värdet för lutningen är $\leq 0,05$. Streckad linje visas för de längre tidsserierna och heldragen linje för tidsserien efter 1994.

Total phosphorus winter [$\mu\text{mol/l}$] 0-10 m



Phosphate winter [$\mu\text{mol/l}$] 0-10 m



Figur 17. Figurer från [Wesslander et al. \(2020\)](#). SMHI uppskattade trender för totalfosfor (överst) och fosfat (nederst) i ytvattnet (0–10m) under vintern. En linje visas när p-värdet för lutningen är $\leq 0,05$. Streckad linje visas för de längre tidsserierna och heldragen linje för tidsserien efter 1994.

4 Sammandrag av slutsatserna till den inledande bedömningen 2023

I analysen beskrivs observerade och modellerade nutida och framtida förändringar i svenska havsområden med fokus på de närliggande årtiondena. Analysen har omfattat en genomgång av olika källmaterial för följande havsmiljöparametrar: vattentemperatur, marina värmeböljor, maximal havsisutbredning, färskvattentillförsel, havsnivåer och landhöjning, salthalt och inflöden av salt till Östersjön, skiktning, vågor och strömmar, uppehållstider, uppvällning, syreförhållanden, havsförsurning och koldioxid, näringsämnen fosfor och kväve, organiskt kol, blått kol och brunifiering.

Nedan följer först en kort sammanfattning. I Tabell 5 ges en översikt av noterade trender från analysen och därefter presenteras ett sammandrag av resultaten.

Resultaten visar att havsnivån och ytvattentemperaturen i haven runt Sverige stiger, förekomsten av nya varmerecord ökar och den maximala havsisutbredningen minskar. I sydligaste Sverige medför stigande hav redan idag problem, men längs Norrlandskusten är landhöjningen snabbare än havsnivåhöjningen. Nederbörd och avrinning från Sverige ökar och i Östersjön ökar skiktningen på grund av ökad temperatur och minskad salthalt i ytvattnet samt ökad salthalt i djupvattnet. Framtida förändringar av salthaltsberoende skiktning är osäkra. Syreförhållanden i Västerhavet och Östersjön försämrats och Egentliga Östersjön har genomgått ett regimskifte med en kraftig ökning av helt syrefria områden. Totalkväve har minskat i Västerhavet. Löst oorganiskt kväve har minskat i Västerhavet, Bottenviken samt i södra och västra delen av Egentliga Östersjön. Totalfosfor har ökat i alla områden utom Skagerrak. Fosfat har ökat i Egentliga Östersjön och Bottenhavet men minskat i Skagerrak. Förändringar i havsförsurning är inte mätbara i centrala och norra Östersjön medan observationer i Västerhavet indikerar en minskning i pH. Siktdjupet i stora delar av Östersjön och Nordsjön har försämrats och ökad brunfärgning av vattnet tillsammans med ökade mängder av suspenderade partiklar från ökad avrinning orsakar kustzonsförmörkelse (coastal darkening).

Slutsats från analysen är att tillståndet i våra hav håller på att förändras vilket behöver tas i beaktande vid miljöövervakning, havsplanering och havsförvaltning. En kontinuerlig övervakning är nödvändig för att följa upp effekter av åtgärder och för att upptäcka långsiktiga förändringar i havsmiljön. För planering av en hållbar utveckling behövs dessutom stöd från modeller som kan beskriva framtida förändringar och förklara samband mellan orsak och verkan från åtgärder och klimatförändringar.

Utvecklingen av framtida förändringar i haven beror på kommande utsläppsnivåer av växthusgaser där RCP2,6 scenariot beskriver en framtid med mycket stora ansträngningar för att minska utsläppen medan RCP4,5 innebär högre utsläpp än vad Parisavtalet medger. I RCP4,5 ökar utsläppen inledningsvis och avtar från år 2040, medan i RCP8,5 fortsätter utsläppen att öka även efter 2040.

Tabell 5. I analysen noteras följande trender.

Parameter	Trend	Kommentar
Havsnivå	↑	Observerat vattenstånd sjunker där landhöjningen är snabbare än havsnivåökningen.
Landhöjning	↑	Snabb efter Norrlandskusten. Ingen landhöjning i sydligaste Sverige.
Ytvattentemperatur	↑	
Värmerekord	↑	
Isutbredning	↓	
Nederbörd och avrinning	↑	
Skiktning	↑	Framtida förändringar av salthaltsberoende skiktning är osäkra.
Syrefria bottnar	↑	
Totalkväve	↓	Endast i Västerhavet
Löst oorganiskt kväve	↓	Utom Östra Gotlandsbassängen, Norra Egentliga Östersjön samt Bottenhavet
Totalfosfor	↑	Utom Skagerrak
Fosfat	↑	Utom Bottenviken och Skagerrak (där den minskar)
pH	↓	Endast mätbart i Västerhavet
Siktdjup	↓	
Brunifiering	↑	

Vattentemperatur och marina värmeböljor

Vattentemperaturen i haven runt Sverige har under de senaste årtiondena stigit snabbast vid ytan med ca 0,3–0,6 °C per årtionde i årsmedelvärde och förväntas fortsätta stiga. Förekomsten av värmeböljor med nya värmerekord har ökat och förväntas också fortsätta öka i framtiden. Med tiden sprider sig värmen djupare genom olika transport- och blandningsprocesser så att hela vattenkolumnen så småningom värms upp med vissa skillnader beroende på djup och region. Utvecklingen av framtida temperaturförändringar i haven beror på kommande utsläppsnivåer.

Maximal havsisutbredning

Ökade temperaturer har inverkan på förekomsten av is. SMHI:s klimatindikator Maximal havsisutbredning för åren 1957–1987 var i medel ca 200 000 km² medan den de senaste 30 åren varit ca 130 000 km². Litteratursammanställningar visar på historiskt minskande havsisutbredning, istjocklek och kortare issäsonger i Östersjön. SMHI:s klimatmodeller visar att maximala havsisutbredningen, istjockleken, issäsongens längd och förekomsten av svåra isvintrar kommer att minska ytterligare i framtiden.

Färskvattentillförsel

Sedan 1970-talet har årsmedelnederbörden för Sverige i snitt ökat med ca 100 mm och förväntas fortsätta öka. Avrinningen från land till hav under de fyra senaste årtiondena (1981–2020) var i Sverige i snitt ca 8 % högre än under perioden 1961–1990 med störst ökning i norr. Avrinningen från land visar dock generellt stora variationer i tiden och inga signifikanta trender i historiskt rekonstruerad avrinning har noterats i Östersjön eller i större floder i Nordsjöområdet. Avrinningen, speciellt till norra Östersjön, och förekomsten av kraftiga regn förväntas dock öka i framtidsscenarierna.

Havsnivåer och landhöjning

Havsnivån längs Sveriges kust har sedan slutet av 1800-talet i medeltal stigit ungefär 15 cm och av denna höjning har nästan 10 cm skett de senaste 40 åren. Med en högre havsnivå krävs ett mindre bidrag från vädret för att nå samma nivåer som vid dagens högvattenhändelser. Längs Norrlandskusten kompenseras dock havsnivåhöjningen av en snabb landhöjning medan avsaknad av landhöjning i sydligaste Sverige medför att stigande hav är ett problem där redan idag. Havet kommer fortsätta stiga under århundraden på grund av den globala uppvärmningen vilket får stora effekter på kustnära områden. Tillfälliga extrema högvattenhändelser är viktiga att ta hänsyn till i planering för kommande årtionden medan den generella havsnivåhöjningen får ökad betydelse på längre sikt.

Salthalt, skiktning och inflöden av salt

Det finns inga signifikanta långtidsförändringar av salinitet i Östersjön men variationer under perioder av flera årtionden förekommer. Östersjön har blivit mer skiktad på grund av ökad temperatur (ca 0,3–0,6 °C per årtionde) och minskad salthalt i ytvattnet (ca -0,05 till -0,14 g kg⁻¹ per årtionde) samt ökad salthalt i djupvattnet från Bornholms bassängen till Finska viken (ca 0,2 till 0,4 g kg⁻¹ per årtionde). Totala saltinnehållet i Östersjön och inflöden av salt från Kattegatt visar inga förändringar, Bottenhavet och Bottenviken visar endast svaga trender i skiktning. I Nordsjöområdet finns det hög variabilitet av salthalt på korta tidsskalor som hindrar möjligheten att fastställa långa trender där med de mätserier som finns idag. Stora osäkerheter i beräkningar av framtida sötvattentillförsel, vind och global havsnivåhöjning medför att inga robusta förändringar av framtida salthalter identifierats för Östersjön. Scenarier med ökad nederbörd över norra Europa och förändrade vindförhållanden indikerar att salthalten kan minska speciellt i södra Skagerrak på grund av förändrade cirkulationsmönster i området.

Vågor, strömmar och uppvällning

Det verkar inte finnas några starka trender i maximal eller signifikant våghöjd, varken historiskt eller i framtidsscenarier, men i samband med att istäcket minskar kan dock områden öppnas upp och högre vågor kan bildas under vintern. Förändringar av strömsystemen till följd av klimatpåverkan är svåra att upptäcka på grund av få mätningar och stor variabilitet framförallt i ytströmmar. Framtidsscenarier indikerar endast små förändringar i generella cirkulationsmönster i Östersjön medan utbytet av näringsämnen mellan grunda och djupa områden intensifieras i ett varmare framtida klimat. Uppvällning vid den svenska kusten är betydande och den högsta förekomstprocenten baserad på satellitdata har noterats särskilt i västra Egentliga Östersjön. Enligt modellresultat är uppvällning en viktig process för transport av näringsämnen från Östersjöns djup till ytan längs den svenska kusten och i områden kring södra Gotland. Eventuella framtida förändringar i uppvällning är osäkra.

Uppehållstider

Beskrivningar av klimatets påverkan på uppehållstider saknas. Modellerad påverkan i kustzonen från svensk reglering av älvar visade dock att effekterna från vattenregleringar på uppehållstid var generellt relativt små. Detta kan ge en indikation att möjliga effekter från klimatförändringar på uppehållstider generellt i kustzonen kan vara små. Effekter av hur havsnivåförändringar och landhöjning kan påverka uppehållstider har dock inte undersökts men kan förväntas vara betydande i områden som är kopplade till utsjön via grunda sund.

Syreförhållanden

Det har skett regimskiften mot ökade syrefria områden i Gotlandsbassängerna vid 1900-talets slut. Djupvattnen i Gotlandsbassängerna är idag hypoxiska, och i västra Gotlandsbassängen till och med helt syrefritt, ända upp till den permanenta haloklinen. Syreutvecklingen i kustområdenas bottenvatten skiljer sig dock från de öppna havsbassängernas bottenvatten. Vd Norra Östersjöns, Vd Bottenhavets och Vd Bottenvikens kustområden indikerar generellt inga signifikanta trender. Vd Södra Östersjöns och Vd Västerhavets kustområden indikerar minskade syrehalter i bottenvattnet men i långsammare takt än det som observerats i de djupare utsjöbassängerna. Skagerraks och Kattegatts djupvatten visade minskande långa trender efter 1960 i syrehalter men ingen signifikant trend efter 1994. I Västerhavets vattendistrikt visade kustområdet under perioden 1991–2021 nästan fyra gånger snabbare minskning av syrehalter jämfört med de långa trenderna från Kattegatts och Skagerraks djupvatten. Framtidsscenarier visar att utvecklingen av syreförhållanden i Östersjöns djupvatten huvudsakligen beror på näringsbelastningen från land vilket påverkar primärproduktion och sedimentering av organiskt material. Klimatförändringen förstärker de negativa effekterna på syreförhållanden, men om näringsbelastningen från land hålls låg kan climateffekterna bli små eller försumbara.

Havsförurning och koldioxid

Stor säsongsbetonad pH-variation, ökande buffertförmåga genom ökad alkalinitet som motverkar havsförurning, samt variabel biologisk produktion innebär att trender i havsförurning inte är mätbara i centrala och norra Östersjön. Nordostatlanten har indikerat minskningar i pH med ca 0,024 och 0,006 pH-enheter per årtionde i ytan (1985–2008) respektive under 500 meters djup (1994–2008). pH minskade med 0,04 pH-enheter per årtionde (1972–2016) i danska sundens kustvatten och 0,03 pH-enheter per årtionde från mitten på 1960-talet i Kattegatts vintervatten. En snabbare pH minskning i Skagerraks djupvatten av 0,077 pH-enheter per årtionde (2007–2019) på 100 meters djup och 0,08 pH-enheter per årtionde (2010–2019) på 600 meters djup har noterats. Anledningen till den snabbare minskningen i Skagerraks djupvatten är ej utredd men kan bero exempelvis på mineralisering av organiskt material. När det gäller uppskattningar av koldioxidflöden saknas trenduppskattningar eftersom det behövs mätningar med hög upplösning då exempelvis biologiska processer skapar stora fluktuationer. Framtida scenarier för alkalinitet är osäkra medan alla scenarierna med ökad CO₂ i atmosfären orsakar ökat koldioxidtryck i havet vilket ger en ökad havsförurning.

Näringsämnen fosfor och kväve

Klimatförändringens påverkan på kväve och fosforinnehållet i Östersjön har inte kunnat särskiljas eftersom eventuella effekter av uppvärmning och havsnivåhöjning döljs av påverkan från förändringar i näringsbelastning och bottenvattnets syrenivåer. En trendanalys av vinter värden i ytan från den

nationella övervakningen efter 1994 visar att totalkväve har minskat i Kattegatt och Skagerrak men visar ingen signifikant trend i Östersjön. Löst oorganiskt kväve har minskat mellan 1,3–1,4 $\mu\text{mol l}^{-1}$ per årtionde i Skagerrak och Kattegatt, och mellan 0,3–0,6 $\mu\text{mol l}^{-1}$ per årtionde i södra och västra delen av Egentliga Östersjön samt i Bottenviken. Östra och Norra Egentliga Östersjön samt Bottenhavet visar inga signifikanta trender i löst oorganiskt kväve. Alla områden utom Skagerrak har signifikant ökande trender av totalfosfor med 1,1–1,9 $\mu\text{mol l}^{-1}$ per årtionde i Egentliga Östersjön och Bottenhavet, 0,8 $\mu\text{mol l}^{-1}$ per årtionde i Kattegatt och 0,2 $\mu\text{mol l}^{-1}$ per årtionde i Bottenviken. Egentliga Östersjön och Bottenhavet indikerar även signifikant ökande trender i fosfat (0,8–1,1 $\mu\text{mol l}^{-1}$ per årtionde). Kattegatt och Bottenviken saknar trend i fosfat medan Skagerrak visar en minskande trend efter 1994.

Organiskt kol, blått kol och brunifiering

Ökad brunfärgning av sjöar och vattendrag har rapporterats under de senaste decennierna och kommer att öka i ett blötare klimat. Siktdjupet i stora delar av Östersjön och Nordsjön har försämrats under 1900-talet sannolikt till stor del beroende på ökade mängder av suspenderade partiklar och/eller löst organiskt material i vattnet. Ökad flodtillrinning till Skagerrak sedan 1990-talet har orsakat ökad kustzonsförmörkelse (Coastal Darkening) genom ökade koncentrationer av totalt suspenderat material och partikulärt kol i norska kustområden i Skagerrak. Ytterligare brunifiering på grund av eventuell ökad framtida flodtillförsel kan ha negativa konsekvenser på näringsväven och ekosystemet i Bottniska viken och i andra nordliga havsområden.

Vissa typer av kustområden i världshaven fungerar som filter som fångar upp näringsämnen och kol. Kolet som begravs i sedimenten fungerar som en sänka för kol, även kallat blått kol (Blue Carbon). Processerna som bestämmer filterförmågan är komplicerade och detaljerad kunskap om hur klimatförändringar kan påverka dessa system och deras filterförmåga saknas. Framtidsscenarier för Östersjön pekar dock på att utbytet av näringsämnen mellan grunda och djupa områden intensifieras i ett varmare framtida klimat. I områden där isen försvinner ökar dessutom vågornas påverkan på havsbotten under vintern vilket ökar transporten av resuspenderade näringsämnen från grundare sediment till djupare områden. Som underlag för att kunna följa eventuella framtida förändringar av Östersjöns kolinnehåll gjordes en uppskattning av innehållet i 18 grupper av levande och dött material från fisk till sediment i Östersjön. Det totala organiska kolet (TOC) uppgår till 440 ± 40 Mt enligt deras beräkningar. De levande bestånden står för 1,2 % av TOC medan de icke-levande grupperna står för cirka 98,8 % av TOC (79,1 % hittas i sedimentet, 18,7 % i löst organiskt kol och 1 % i partikulärt organiskt kol).

5 Tack

Tack till alla medarbetare på SMHI forskning/oceanografi och samhällsplanering/oceanografi för hjälp med granskning, diskussioner och framtagande av förslag på underlag till analysen. Tack till alla medarbetare på SMHI som hjälpt till med diskussionen kring en ord- och begreppslista som stöd för klimatanalysen. Denna rapport har finansierats av Havs och vattenmyndighetens (HaV) projekt ”Klimatanalys för havsmiljöförvaltningen 2022–2023” (HaV dnr 02654–2022) med stöd från ramanslag för myndigheten SMHI Allmän miljö- och naturvård (1:9) framförallt för det tidigare arbetet med Appendix 1, 2 och 3.

6 Referenser

- Algotsson och Edman, 2019a. Metodbeskrivning Kust-HYMO statusklassning.
https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.149623!/PM_Metodbeskrivning_statusklassning.pdf.
- Algotsson och Edman, 2019b. Förslag till statusklassning av parameter 9.5 Sötvatteninflöde och vattenutbyte i kustvatten och vatten i övergångszon. En jämförelse mellan Kustzonsmodellens naturliga och normala uppsättning. SMHI rapport Oceanografi 127.
https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.166666!/Oceanografi_127%20F%C3%B6rslag%20till%20statusklassning%20av%20parameter%209.5%20S%C3%B6tvatteninfl%C3%B6de%20och%20vattenutbyte%20i%20kustvatten%20och%20vatten%20i%20%C3%B6verg%C3%A5ngszon%20En%20j%C3%A4mf%C3%B6relse%20mellan%20Kustzonsmodellens%20naturliga%20och%20normala%20Upps..pdf.
- Almroth-Rosell E, Wählström I, Hansson M, Väli G, Eilola K, Andersson P, Viktorsson L, Hieronymus M and Arneborg L (2021) A Regime Shift Toward a More Anoxic Environment in a Eutrophic Sea in Northern Europe. *Front. Mar. Sci.* 8:799936. doi: 10.3389/fmars.2021.799936. Supplement <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2021.799936/full#supplementary-material>.
- Andersson, A., Meier, H.E.M., Ripszám, M. et al. Projected future climate change and Baltic Sea ecosystem management. *AMBIO* 44 (Suppl 3), 345–356 (2015). <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0654-8>. Supplement https://static-content.springer.com/esm/art%3A10.1007%2Fs13280-015-0654-8/MediaObjects/13280_2015_654_MOESM1_ESM.pdf.
- BACC II Author Team: Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin, Regional Climate Studies, Springer International Publishing, Cham, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-16006-1>, 2015.
- Bandara, Brugel, Andersson, and Chun Pong Lau. Seawater browning alters community composition and reduces nutritional quality of plankton in a subarctic marine ecosystem. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 79(8): 1291-1301. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2021-0118>.
- Bartosova, A., Capell, R., Olesen, J.E. et al. Future socioeconomic conditions may have a larger impact than climate change on nutrient loads to the Baltic Sea. *Ambio* 48, 1325–1336 (2019). <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01243-5>. Supplement <https://link.springer.com/article/10.1007/s13280-019-01243-5#Sec17>.
- BEAR, The Baltic Earth Assessment Reports specialnummer.
https://esd.copernicus.org/articles/special_issue1088.html.
- Borgman, Foldager Pedersen, Upadhyay Stæhr, Fischer-Bogason, 2021. Marine heatwaves in Northern Sea areas: Occurrence, effects, and expected frequencies.
<https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2022/mars/marine-heatwaves-in-northern-sea-areas-occurrence-effects-and-expected-frequencies/>.
- Carstensen, J., Conley, D.J., Almroth-Rosell, E. et al. Factors regulating the coastal nutrient filter in the Baltic Sea. *Ambio* 49, 1194–1210 (2020). <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01282-y>.
- Copernicus Marine Data Store, Baltic Sea Physics Reanalysis NEMO-Nordic.
<https://data.marine.copernicus.eu/products?facets=areas%7EBaltic+Sea>.
- Dupont och Aksnes, Centennial changes in water clarity of the Baltic Sea and the North Sea, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Volume 131, 2013,
<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.08.010>.

- Dutheil, C., Meier, H.E.M., Gröger, M. et al. Understanding past and future sea surface temperature trends in the Baltic Sea. *Clim Dyn* 58, 3021–3039 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00382-021-06084-1>.
- Edman M, Eilola K, Almroth-Rosell E, Meier HEM, Wåhlström I and Arneborg L (2018) Nutrient Retention in the Swedish Coastal Zone. *Front. Mar. Sci.* 5:415. doi: 10.3389/fmars.2018.00415. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2018.00415/full>.
- Eilola, K., E. Almroth Rosell, and H. E. M. Meier, 2014: Impact of saltwater inflows on phosphorus cycling and eutrophication in the Baltic Sea. A 3D model study. *Tellus A*, 66, 23985, <http://dx.doi.org/10.3402/tellusa.v66.23985>.
- Eilola, K., E. Almroth Rosell, C. Dieterich, F. Fransner, A. Höglund and H. E. M. Meier, 2012: Modeling nutrient transports and exchanges of nutrients between shallow regions and the open Baltic Sea in present and future climate. *AMBIO*, Vol. 41, Issue 6, 574-585, DOI: 10.1007/s13280-012-0319-9.
- Eilola, K., H.E.M. Meier and E. Almroth, 2009. On the dynamics of oxygen, phosphorus and cyanobacteria in the Baltic Sea; A model study. *J. Mar. Sys.*, 75, pp. 163-184. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924796308002182?via%3Dihub>.
- Eilola, K., S. Mårtensson, and H. E. M. Meier, 2013: Modeling the impact of reduced sea ice cover in future climate on the Baltic Sea biogeochemistry. *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 40, 1-6, doi:10.1029/2012GL054375.
- En Clime faktablad, Climate Change in the Baltic Sea. 2021 Fact Sheet. Baltic Sea Environment Proceedings n°180. HELCOM/Baltic Earth 2021. <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2021/09/Baltic-Sea-Climate-Change-Fact-Sheet-2021.pdf>.
- European Commission, 2022. MSFD CIS Guidance Document No. 19, Article 8 MSFD, May 2022. [https://circabc.europa.eu/d/d/workspace/SpacesStore/d2292fb4-ec39-4123-9a02-2e39a9be37e7/GD19%20-%20MSFDguidance_2022_Art.8Assessment\(1\).pdf](https://circabc.europa.eu/d/d/workspace/SpacesStore/d2292fb4-ec39-4123-9a02-2e39a9be37e7/GD19%20-%20MSFDguidance_2022_Art.8Assessment(1).pdf)
- Fleming-Lehtinen och Maria Laamanen, Long-term changes in Secchi depth and the role of phytoplankton in explaining light attenuation in the Baltic Sea, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Volumes 102–103, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2012.02.015>.
- Frigstad, Andersen, Trannum, McGovern, Naustvoll, Kaste, Deininger, Hjermann, Three decades of change in the Skagerrak coastal ecosystem, shaped by eutrophication and coastal darkening, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Volume 283, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2022.108193>.
- Goebeler, N., Norkko, A. & Norkko, J. Ninety years of coastal monitoring reveals baseline and extreme ocean temperatures are increasing off the Finnish coast. *Commun Earth Environ* 3, 215 (2022). <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00545-z>.
- Gröger, M., Arneborg, L., Dieterich, C. et al., 2019. Summer hydrographic changes in the Baltic Sea, Kattegat and Skagerrak projected in an ensemble of climate scenarios downscaled with a coupled regional ocean–sea ice–atmosphere model. *Clim Dyn* 53, 5945–5966. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04908-9>.
- Gustafsson och Gustafsson, Future acidification of the Baltic Sea – A sensitivity study, *Journal of Marine Systems*, Volume 211, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2020.103397>.

- Harvey, E.T., Kratzer, S. & Andersson, A. Relationships between colored dissolved organic matter and dissolved organic carbon in different coastal gradients of the Baltic Sea. *AMBIO* 44 (Suppl 3), 392–401 (2015). <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0658-4>.
- HaV Regeringsuppdrag, Klimat-förändringarnas och hav-försurningens påverkan på koraller (2020). <https://www.havochvatten.se/om-oss-kontakt-och-karriar/om-oss/regeringsuppdrag/regeringsuppdrag/klimatforandringarnas-och-havforsurningens-paverkan-pa-koraller-2020.html>.
- Havenhand, J.N. How will Ocean Acidification Affect Baltic Sea Ecosystems? An Assessment of Plausible Impacts on Key Functional Groups. *AMBIO* 41, 637–644 (2012). <https://doi.org/10.1007/s13280-012-0326-x>.
- Havs- och vattenmyndigheten, Marin strategi för Nordsjön och Östersjön, HaV:s rapport nr 2012:19 God Havsmiljö 2020 – Del 1. <https://www.havochvatten.se/download/18.1690613b166605675de8cb6d/1539958533199/rapport-2012-19-god-havsmiljo-del-1.pdf>
- Havs- och vattenmyndigheten, regleringsbrev 2022. Klimat-förändringarnas och hav-försurningens påverkan på koraller (2020). <https://www.havochvatten.se/om-oss-kontakt-och-karriar/om-oss/regeringsuppdrag/regeringsuppdrag/klimatforandringarnas-och-havforsurningens-paverkan-pa-koraller-2020.html>
- Heleen A. de Wit, Salar Valinia, Gesa A. Weyhenmeyer, Martyn N. Futter, Pirkko Kortelainen, Kari Austnes, Dag O. Hessen, Antti Räike, Hjalmar Laudon, and Jussi Vuorenmaa *Environmental Science & Technology Letters* 2016 3 (12), 430-435. DOI: 10.1021/acs.estlett.6b00396. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.estlett.6b00396>.
- Hieronymus, M., Kalén, O. Should Swedish sea level planners worry more about mean sea level rise or sea level extremes?. *Ambio* 51, 2325–2332 (2022). <https://doi.org/10.1007/s13280-022-01748-6>.
- Honkanen, M., Müller, J. D., Seppälä, J., Rehder, G., Kielosto, S., Ylöstalo, P., Mäkelä, T., Hatakka, J., and Laakso, L.: The diurnal cycle of pCO₂ in the coastal region of the Baltic Sea, *Ocean Sci.*, 17, 1657–1675, <https://doi.org/10.5194/os-17-1657-2021>, 2021.
- IOW, Baltic saline barotropic inflows. <https://www.io-warnemuende.de/major-baltic-inflow-statistics-7274.html>.
- IPCC, 2021: Annex VII: Glossary https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_AnnexVII.pdf
- Johansson, 2018. Extremvattenstånd i Göteborg. MSB rapport 2018 Dnr 2018/955/9.5. <https://www.msb.se/siteassets/dokument/amnesomraden/skydd-mot-olyckor-och-farliga-amnen/naturoluckykor-och-klimat/oversvamnning/oversvamningskartering-kust/goteborg.pdf>.
- Kniebusch, M., Meier, H. E. M., Neumann, T., & Börgel, F. (2019). Temperature variability of the baltic sea since 1850 and attribution to atmospheric forcing variables. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 124, 4168–4187. <https://doi.org/10.1029/2018JC013948>.
- Kritzberg, E.S., Hasselquist, E.M., Škerlep, M. et al. Browning of freshwaters: Consequences to ecosystem services, underlying drivers, and potential mitigation measures. *Ambio* 49, 375–390 (2020). <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01227-5>.
- Kuliński, K., Rehder, G., Asmala, E., Bartosova, A., Carstensen, J., Gustafsson, B., Hall, P. O. J., Humborg, C., Jilbert, T., Jürgens, K., Meier, H. E. M., Müller-Karulis, B., Naumann, M., Olesen, J. E., Savchuk, O., Schramm, A., Slomp, C. P., Sofiev, M., Sobek, A., Szymczycha, B., and

- Undeman, E.: 2022. Biogeochemical functioning of the Baltic Sea, *Earth Syst. Dynam.*, 13, 633–685, <https://doi.org/10.5194/esd-13-633-2022>.
- Larsson och Öberg, 2022, Utbredningen av havsis har minskat sedan 1990. <https://www.sverigesvattenmiljo.se/content/utbredningen-av-havsis-har-minskat-sedan-1990>.
- Liblik T and Lips U (2019) Stratification Has Strengthened in the Baltic Sea – An Analysis of 35 Years of Observational Data. *Front. Earth Sci.* 7:174. doi: 10.3389/feart.2019.00174.
- Lindström, 2022. Klimat, vattentillgång och höga flöden i Sverige 1860–2020. Energiforskrappport 2022-902. <https://energiforsk.se/media/31889/klimat-vattentillgang-och-hoga-floden-i-sverige-1860-2020-energiforskrappport-2022-902.pdf>.
- Meier, H. E. M., Kniebusch, M., Dieterich, C., Gröger, M., Zorita, E., Elmgren, R., Myrberg, K., Ahola, M. P., Bartosova, A., Bonsdorff, E., Börgel, F., Capell, R., Carlén, I., Carlund, T., Carstensen, J., Christensen, O. B., Dierschke, V., Frauen, C., Frederiksen, M., Gaget, E., Galatius, A., Haapala, J. J., Halkka, A., Hugelius, G., Hünicke, B., Jaagus, J., Jüssi, M., Käyhkö, J., Kirchner, N., Kjellström, E., Kulinski, K., Lehmann, A., Lindström, G., May, W., Miller, P. A., Mohrholz, V., Müller-Karulis, B., Pavón-Jordán, D., Quante, M., Reckermann, M., Rutgersson, A., Savchuk, O. P., Stendel, M., Tuomi, L., Viitasalo, M., Weisse, R., and Zhang, W.: Climate change in the Baltic Sea region: a summary, *Earth Syst. Dynam.*, 13, 457–593, <https://doi.org/10.5194/esd-13-457-2022>, 2022.
- Mohrholz V (2018) Major Baltic Inflow Statistics – Revised. *Front. Mar. Sci.* 5:384. doi: 10.3389/fmars.2018.00384.
- MSB, Översvämningskarteringar. <https://www.msb.se/sv/amnesomraden/skydd-mot-olyckor-och-farliga-amnen/naturolyckor-och-klimat/oversvamning/oversvamningskarteringar-och-samordning/>.
- NOSCCA, North Sea Region Climate Change Assessment, 2016. Editors: M. Quante and F. Colijn. Regional Climate Studies, Springer, DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-39745-0>.
- Opdal AF, Lindemann C, Aksnes DL. Centennial decline in North Sea water clarity causes strong delay in phytoplankton bloom timing. *Glob Change Biol.* 2019. 25, 3946–3953. <https://doi.org/10.1111/gcb.14810>.
- Pemberton P, Lind L, Jönsson J, Arneborg L, Axell L, Hieronymus M (2021), Framtida isutbredning i svenska farvatten – Analys av isförhållandena runt år 2040 och 2070, Oceanografi, Swedish Meteorological and Hydrographical Institute, No. 129, p 27, Göteborg, Sweden. https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.175881!/Oceanografi_129%20Framtida%20isutbredning%20i%20svenska%20farvatten%20Analys%20av%20is%20förh%C3%B6llandena%20runt%20%C3%A5r%202040%20och%202070.pdf.
- Placke M, Meier HEM, Gräwe U, Neumann T, Frauen C and Liu Y (2018) Long-Term Mean Circulation of the Baltic Sea as Represented by Various Ocean Circulation Models. *Front. Mar. Sci.* 5:287. doi: 10.3389/fmars.2018.00287.
- Scheffold MIE and Hense I (2020) Quantifying Contemporary Organic Carbon Stocks of the Baltic Sea Ecosystem. *Front. Mar. Sci.* 7:571956. doi: 10.3389/fmars.2020.571956. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2020.571956/full>.
- SMHI Hypeweb, Nutrient Inflow To The Baltic Sea. <https://hypeweb.smhi.se/showcases/nutrient-inflow-to-the-baltic-sea/>.
- SMHI Hypeweb, Showcases. <https://hypeweb.smhi.se/showcases/>.
- SMHI, Analysverktyg för regleringar. <https://vattenwebb.smhi.se/regulations/>.

SMHI, beskrivning av klimatindex. <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindex>.

SMHI, beskrivning av klimatindikatorer. <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer>.

SMHI, beskrivning av klimatpåverkan. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimatpaverkan>.

SMHI, Faktablad Strömmar i svenska hav. https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.17789!/webbFaktablad_52.pdf.

SMHI, Fördjupad klimatscenariotjänst. <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/met/sverige/medeltemperatur/rcp45/2071-2100/year/anom>.

SMHI, Framtida medelvattenstånd. <https://www.smhi.se/klimat/stigande-havsnivaer/framtida-medelvattenstand-1.165493>.

SMHI, Havsnivåhöjning på långa tidsskalor. <https://www.smhi.se/klimat/stigande-havsnivaer/havsnivahojning-pa-langa-tidsskalor-1.165465>.

SMHI, Högvattenhändelser och extremnivåer. <https://www.smhi.se/klimat/stigande-havsnivaer/hogvattenhandelser-och-extremnivaer-1.165445>.

SMHI, Inflöden till Östersjön. <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/arets-vatten/ostersjons-in-och-utfloden-2020-1.177658>.

SMHI, Introduktion till stigande havsnivåer. <https://www.smhi.se/klimat/stigande-havsnivaer/introduktion-till-stigande-havsnivaer-1.179350>.

SMHI, Isobservationer. <https://www.smhi.se/data/oceanografi/havsis>.

SMHI, Klimatindikator - extrem nederbörd. <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/klimatindikator-extrem-nederbord-1.29819>.

SMHI, Klimatindikator – havsnivå. <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/klimatindikator-havsvattenstand-1.2260>.

SMHI, Klimatindikator – nederbörd. <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/klimatindikator-nederbord-1.2887>.

SMHI, Kustzonsmodellen. <https://www.smhi.se/forskning/forskningsenheter/oceanografi/kustzonsmodellen-1.19391>.

SMHI, Ladda ner oceanografiska observationer, HUVUDSKÄR OST BOJ. <https://www.smhi.se/data/oceanografi/ladda-ner-oceanografiska-observationer#param=waves,stations=all,stationid=33002>.

SMHI, maximal isutbredning. <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/klimatindikator-maximal-isutbredning-1.20049>.

SMHI, Normal årsavrinning. <https://www.smhi.se/data/hydrologi/vattenforing/normal-arsavrinning-1.7967>.

SMHI, Normal avrinning och utflöde till havet. <https://www.smhi.se/data/hydrologi/vattenforing/normal-avrinning-och-utflode-till-havet-1.7993>.

SMHI, Normalperioder. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/normaler/vad-ar-normalperioder-1.4087>.

- SMHI, Rekord: Våghöjd. <https://www.smhi.se/data/oceanografi/havsvagor/rekord-vaghojd-1.9314>.
- SMHI, Stigande havsnivåer. <https://www.smhi.se/klimat/stigande-havsnivaer/stigande-havsnivaer>.
- SMHI, Vattenstånd och vågor. <https://www.smhi.se/vader/prognoser/vattenstand-och-vagor/>.
- SVT, värmeböljor i havet på Västkusten. <https://www.svt.se/nyheter/inrikes/allt-varmare-i-svenska-hav>.
- Vahtera, Conley, Gustafsson, Kuosa, Pitkänen, Savchuk, Tamminen, Viitasalo, Voss, Wasmund, and Wulff 2007. Internal Ecosystem Feedbacks Enhance Nitrogen-fixing Cyanobacteria Blooms and Complicate Management in the Baltic Sea, *AMBIO* 36(2), 186-194. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[186:IEFENC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[186:IEFENC]2.0.CO;2).
- Wahlström, I., Hammar, L., Hume, D., Pålsson, J., Almroth-Rosell, E., Dieterich, C., Arneborg, L., Gröger, M., Mattsson, M., Zillén Snowball, L., Kågesten, G., Törnqvist, O., Breviere, E., Brunnabend, S.-E., & Jonsson, P. R. (2022). Projected climate change impact on a coastal sea—As significant as all current pressures combined. *Global Change Biology*, 28, 5310–5319. <https://doi.org/10.1111/gcb.16312>.
- Wesslander, K., L. Viktorsson, P. Thor, M. Nilsson, A.T. Skjevik, 2020. The Swedish National Marine Monitoring Programme 2019. Report Oceanography No.69, SMHI Norrköping Sweden. https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.162761!/RO_69.pdf.
- WMO, World Meteorological Organization. Meteorologiska världsorganisationen. <https://public.wmo.int/en>.
- Zhang, Wu, Arnqvist, Hallgren, Rutgersson, Mapping coastal upwelling in the Baltic Sea from 2002 to 2020 using remote sensing data, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 114, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.103061>.

7 Appendix

- 7.1 Appendix 1: Eilola 2020, Klimatförändringar i Nordsjön och Västerhavet**
- 7.2 Appendix 2: Eilola 2020, Observationsdata och modellresultat**
- 7.3 Appendix 3: Eilola 2020, Framtida klimatförändringar**
- 7.4 Appendix 4: Eilola 2023, SMHI Kustzonsmodell, temperaturförändringar i kusten**
- 7.5 Appendix 5: Eilola 2023, SMHI Kustzonsmodell, bottensyreförändringar i kusten**
- 7.6 Appendix 6: Eilola 2023, Kartor med benämningar av havsbassänger och mätstationer**

SMHI Publikationer

SMHI publicerar sju rapportserier. Tre av dessa, R-serierna är avsedda för internationella läsare och skrivs oftast på Engelska. I de övriga serierna används oftast Svenska men även Engelska.

Seriernas namn	Publiceras sedan
RMK (Report Meteorology and Climatology)	1974
RH (Report Hydrology)	1990
RO (Report Oceanography)	1986
METEOROLOGI	1985
HYDROLOGI	1985
OCEANOGRAFI	1985
KLIMATOLOGI	2009

I serien OCEANOGRAFI har tidigare utgivits:

1. Lennart Funkquist (1985)
En hydrodynamisk modell för spridnings- och cirkulationsberäkningar i Östersjön
Slutrapport
2. Barry Broman och Carsten Pettersson. (1985)
Spridningsundersökningar i yttre fjärden Piteå
3. Cecilia Ambjörn (1986)
Utbyggnad vid Malmö hamn; effekter för Lommabuktens vattenutbyte
4. Jan Andersson och Robert Hillgren (1986)
SMHIs undersökningar i Öregrundsgrepen perioden 84/85
5. Bo Juhlin (1986)
Oceanografiska observationer utmed svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1985
6. Barry Broman (1986)
Uppföljning av sjövärmepump i Lilla Värtan
7. Bo Juhlin (1986)
15 års mätningar längs svenska kusten med kustbevakningen (1970 - 1985)
8. Jonny Svensson (1986)
Vågdata från svenska kustvatten 1985
9. Barry Broman (1986)
Oceanografiska stationsnät - Svenskt Vattenarkiv
10. *Vakant – kommer ej att utnyttjas!*
11. Cecilia Ambjörn (1987)
Spridning av kylvatten från Öresundsverket
12. Bo Juhlin (1987)
Oceanografiska observationer utmed svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1986
13. Jan Andersson och Robert Hillgren (1987)
SMHIs undersökningar i Öregrundsgrepen 1986
14. Jan-Erik Lundqvist (1987)
Impact of ice on Swedish offshore lighthouses. Ice drift conditions in the area at Sydostbrotten - ice season 1986/87
15. SMHI/SNV (1987)
Fasta förbindelser över Öresund - utredning av effekter på vattenmiljön i Östersjön
16. Cecilia Ambjörn och Kjell Wickström (1987)
Undersökning av vattenmiljön vid utfyllnaden av Kockums varvsbassäng. Slutrapport för perioden 18 juni - 21 augusti 1987
17. Erland Bergstrand (1987)
Östergötlands skärgård - Vattenmiljön
18. Stig H. Fonselius (1987)
Kattegatt - havet i väster
19. Erland Bergstrand (1987)
Recipientkontroll vid Breviksnäs fiskodling 1986
20. Kjell Wickström (1987)
Bedömning av kylvattenrecipienten för ett kolkraftverk vid Oskarshamnsverket

21. Cecilia Ambjörn (1987)
Förstudie av ett nordiskt modellsystem för kemikaliespridning i vatten
22. Kjell Wickström (1988)
Vågdata från svenska kustvatten 1986
23. Jonny Svensson, SMHI/National Swedish Environmental Protection Board (SNV) (1988)
A permanent traffic link across the Öresund channel - A study of the hydro-environmental effects in the Baltic Sea
24. Jan Andersson och Robert Hillgren (1988)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1987
25. Carsten Peterson och Per-Olof Skoglund (1988)
Kylvattnet från Ringhals 1974-86
26. Bo Juhlin (1988)
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1987
27. Bo Juhlin och Stefan Tobiasson (1988)
Recipientkontroll vid Breviksnäs fiskodling 1987.
28. Cecilia Ambjörn (1989)
Spridning och sedimentation av tippat lermaterial utanför Helsingborgs hamnområde
29. Robert Hillgren (1989)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1988
30. Bo Juhlin (1989)
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1988
31. Erland Bergstrand och Stefan Tobiasson (1989)
Samordnade kustvattenkontrollen i Östergötland 1988
32. Cecilia Ambjörn (1989)
Oceanografiska förhållanden i Brofjorden i samband med kylvattenutsläpp i Trommekilen
33. 33a Cecilia Ambjörn (1990)
Oceanografiska förhållanden utanför Vendelsöfjorden i samband med kylvattenutsläpp
- 33b Eleonor Marmefelt och Jonny Svensson (1990)
Numerical circulation models for the Skagerrak - Kattegat. Preparatory study
34. Kjell Wickström (1990)
Oskarshamnsverket - kylvattenutsläpp i havet - slutrapport
35. Bo Juhlin (1990)
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1989
36. Bertil Håkansson och Mats Moberg (1990)
Glommaälvens spridningsområde i nord-östra Skagerrak
37. Robert Hillgren (1990)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1989
38. Stig Fonselius (1990)
Skagerrak - the gateway to the North Sea
39. Stig Fonselius (1990)
Skagerrak - porten mot Nordsjön.
40. Cecilia Ambjörn och Kjell Wickström (1990)
Spridningsundersökningar i norra Kalmarsund för Mönsterås bruk
41. Cecilia Ambjörn (1990)
Strömningsteknisk utredning avseende utbyggnad av gipsdeponi i Landskrona
42. Cecilia Ambjörn, Torbjörn Grafström och Jan Andersson (1990)
Spridningsberäkningar - Klints Bank
43. Kjell Wickström och Robert Hillgren (1990)
Spridningsberäkningar för EKA-NOBELS fabrik i Stockviksverken
44. Jan Andersson (1990)
Brofjordens kraftstation - Kylvattenspridning i Hanneviken

45. Gustaf Westring och Kjell Wickström (1990)
Spridningsberäkningar för Höganäs kommun
46. Robert Hillgren och Jan Andersson (1991)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1990
47. Gustaf Westring (1991)
Brofjordens kraftstation - Kompletterande simulering och analys av kylvattenspridning i Trommekilen
48. Gustaf Westring (1991)
Vågmätningar utanför Kristianopel - Slutrapport
49. Bo Juhlin (1991)
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1990
50. 50A Robert Hillgren och Jan Andersson (1992)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1991
- 50B Thomas Thompson, Lars Ulander, Bertil Håkansson, Bertil Brusmark, Anders Carlström, Anders Gustavsson, Eva Cronström och Olov Fäst (1992).
BEERS -92 Final edition
51. Bo Juhlin (1992)
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1991
52. Jonny Svensson och Sture Lindahl (1992)
Numerical circulation model for the Skagerrak - Kattegatt
53. Cecilia Ambjörn (1992)
Isproppsförebyggande muddring och dess inverkan på strömmarna i Torneälven
54. Bo Juhlin (1992)
20 års mätningar längs svenska kusten med kustbevakningens fartyg (1970 - 1990)
55. Jan Andersson, Robert Hillgren och Gustaf Westring (1992)
Förstudie av strömmar, tidvatten och vattenstånd mellan Cebu och Leyte, Filippinerna
56. Gustaf Westring, Jan Andersson, Henrik Lindh och Robert Axelsson (1993)
Forsmark - en temperaturstudie. Slutrapport
57. Robert Hillgren och Jan Andersson (1993)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1992
58. Bo Juhlin (1993)
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1992
59. Gustaf Westring (1993)
Isförhållandena i svenska farvatten under normalperioden 1961-90
60. Torbjörn Lindkvist (1994)
Havsområdesregister 1993
61. Jan Andersson och Robert Hillgren (1994)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1993
62. Bo Juhlin (1994)
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1993
63. Gustaf Westring (1995)
Isförhållanden utmed Sveriges kust - isstatistik från svenska farleder och farvatten under normalperioderna 1931-60 och 1961-90
64. Jan Andersson och Robert Hillgren (1995)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1994
65. Bo Juhlin (1995)
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1994
66. Jan Andersson och Robert Hillgren (1996)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1995
67. Lennart Funkquist och Patrik Ljungemyr (1997)
Validation of HIROMB during 1995-96
68. Maja Brandt, Lars Edler och Lars Andersson (1998)
Översvämningar längs Oder och Wisla sommaren 1997 samt effekterna i Östersjön

69. Jörgen Sahlberg SMHI och Håkan Olsson, Länsstyrelsen, Östergötland (2000)
Kustzonmodell för norra Östergötlands skärgård
70. *Vakant – kommer ej att utnyttjas!*
71. *Vakant – kommer ej att utnyttjas!*
72. Fourth Workshop on Baltic Sea Ice Climate Norrköping, Sweden 22-24 May, 2002
Conference Proceedings
Editors: Anders Omstedt and Lars Axell
73. Torbjörn Lindkvist, Daniel Björkert, Jenny Andersson, Anders Gyllander (2003)
Djupdata för havsområden 2003
74. Håkan Olsson, SMHI (2003)
Erik Årnefelt, Länsstyrelsen Östergötland
Kustzonssystemet i regional miljöanalys
75. Jonny Svensson och Eleonor Marmefelt (2003)
Utvärdering av kustzonmodellen för norra Östergötlands och norra Bohusläns skärgårdar
76. Eleonor Marmefelt, Håkan Olsson, Helma Lindow och Jonny Svensson, Thalassos Computations (2004)
Integrerat kustzonssystem för Bohusläns skärgård
77. Philip Axe, Martin Hansson och Bertil Håkansson (2004)
The national monitoring programme in the Kattegat and Skagerrak
78. Lars Andersson, Nils Kajrup och Björn Sjöberg (2004)
Dimensionering av det nationella marina pelagialprogrammet
79. Jörgen Sahlberg (2005)
Randdata från öppet hav till kustzonmodellerna (Exemplet södra Östergötland)
80. Eleonor Marmefelt, Håkan Olsson (2005)
Integrerat Kustzonssystem för Hallandskusten
81. Tobias Strömgren (2005)
Implementation of a Flux Corrected Transport scheme in the Rossby Centre Ocean model
82. Martin Hansson (2006)
Cyanobakterieblomningar i Östersjön, resultat från satellitövervakning 1997-2005
83. Kari Eilola, Jörgen Sahlberg (2006)
Model assessment of the predicted environmental consequences for OSPAR problem areas following nutrient reductions
84. Torbjörn Lindkvist, Helma Lindow (2006)
Fyrskottsdata. Resultat och bearbetningsmetoder med exempel från Svenska Björn 1883 – 1892
85. Pia Andersson (2007)
Ballast Water Exchange areas – Prospect of designating BWE areas in the Baltic Proper
86. Elin Almroth, Kari Eilola, M. Skogen, H. Søiland and Ian Sehested Hansen (2007)
The year 2005. An environmental status report of the Skagerrak, Kattegat and North Sea
87. Eleonor Marmefelt, Jörgen Sahlberg och Marie Bergstrand (2007)
HOME Vatten i södra Östersjöns vattendistrikt. Integrerat modellsystem för vattenkvalitetsberäkningar
88. Pia Andersson (2007)
Ballast Water Exchange areas – Prospect of designating BWE areas in the Skagerrak and the Norwegian Trench
89. Anna Edman, Jörgen Sahlberg, Niclas Hjerdt, Eleonor Marmefelt och Karen Lundholm (2007)
HOME Vatten i Bottenvikens vatten-distrikt. Integrerat modellsystem för vattenkvalitetsberäkningar
90. Niclas Hjerdt, Jörgen Sahlberg, Eleonor Marmefelt och Karen Lundholm (2007)
HOME Vatten i Bottenhavets vattendistrikt. Integrerat modellsystem för vattenkvalitetsberäkningar

91. Elin Almroth, Morten Skogen, Ian Sehested Hansen, Tapani Stipa, Susa Niiranen (2008)
The year 2006
An Eutrophication Status Report of the North Sea, Skagerrak, Kattegat and the Baltic Sea
A demonstration Project
92. Pia Andersson editor and co-authors¹
Bertil Håkansson¹, Johan Håkansson¹, Elisabeth Sahlsten¹, Jonathan Havenhand², Mike Thorndyke², Sam Dupont² *Swedish Meteorological and Hydrological Institute¹ Gothenburg University, Sven Lovén, Centre of Marine Sciences²* (2008)
Marine Acidification – On effects and monitoring of marine acidification in the seas surrounding Sweden
93. Jörgen Sahlberg, Eleonor Marmefelt, Maja Brandt, Niclas Hjerdt och Karen Lundholm (2008)
HOME Vatten i norra Östersjöns vatten-distrikt. Integrerat modellsystem för vattenkvalitetsberäkningar.
94. David Lindstedt (2008)
Effekter av djupvattenomblandning i Östersjön – en modellstudie
95. Ingemar Cato¹, Bertil Håkansson², Ola Hallberg¹, Bernt Kjellin¹, Pia Andersson², Cecilia Erlandsson¹, Johan Nyberg¹, Philip Axe² (2008)
¹Geological Survey of Sweden (SGU)
²The Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)
A new approach to state the areas of oxygen deficits in the Baltic Sea
96. Kari Eilola, H.E. Markus Meier, Elin Almroth, Anders Höglund (2008)
Transports and budgets of oxygen and phosphorus in the Baltic Sea
97. Anders Höglund, H.E. Markus Meier, Barry Broman och Ekaterina Kriezi (2009)
Validation and correction of regionalised ERA-40 wind fields over the Baltic Sea using the Rossby Centre Atmosphere model RCA3.0
98. Jörgen Sahlberg (2009)
The Coastal Zone Model
99. Kari Eilola (2009)
On the dynamics of organic nutrients, nitrogen and phosphorus in the Baltic Sea
100. Kristin I. M. Andreasson (SMHI), Johan Wikner (UMSC), Berndt Abrahamsson (SMF), Chris Melrose (NOAA), Svante Nyberg (SMF) (2009)
Primary production measurements – an intercalibration during a cruise in the Kattegat and the Baltic Sea
101. K. Eilola, B. G. Gustafson, R. Hordoir, A. Höglund, I. Kuznetsov, H.E.M. Meier T. Neumann, O. P. Savchuk (2010)
Quality assessment of state-of-the-art coupled physical-biogeochemical models in hind cast simulations 1970-2005
102. Pia Andersson (2010)
Drivers of Marine Acidification in the Seas Surrounding Sweden
103. Jörgen Sahlberg, Hanna Gustavsson (2010)
HOME Vatten i Mälaren
104. K.V Karmanov., B.V Chubarenko, D. Domnin, A. Hansson (2010)
Attitude to climate changes in everyday management practice at the level of Kaliningrad region municipalities
105. Helén C. Andersson., Patrik Wallman, Chantal Donnelly (2010)
Visualization of hydrological, physical and biogeochemical modelling of the Baltic Sea using a GeoDomeTM
106. Maria Bergelo (2011)
Havsvattenståndets påverkan längs Sveriges kust – enkätsvar från kommuner, räddningstjänst, länsstyrelser och hamnar
107. H.E. Markus Meier, Kari Eilola (2011)
Future projections of ecological patterns in the Baltic Sea
108. Meier, H.E.M., Andersson, H., Dieterich, C., Eilola, K., Gustafsson, B., Höglund, A., Hordoir, R., Schimanke, S (2011)
Transient scenario simulations for the Baltic Sea Region during the 21st century

109. Ulrike Löptien, H.E. Markus Meier (2011)
Simulated distribution of colored dissolved organic matter in the Baltic Sea
110. K. Eilola¹, J. Hansen⁴, H. E. M. Meier¹, K. Myrberg⁵, V. A. Ryabchenko³ and M. D. Skogen² (2011)
¹Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Sweden, ²Institute of Marine Research, Norway, ³St. Petersburg Branch, P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russia, ⁴National Environmental Research Institute, Aarhus University, Denmark, ⁵Finnish Environment Institute, Finland
Eutrophication Status Report of the North Sea, Skagerrak, Kattegat and the Baltic Sea: A model study
Years 2001-2005
111. Semjon Schimanke, Erik Kjellström, Gustav Strandberg och Markus Meier (2011)
A regional climate simulation over the Baltic Sea region for the last Millennium
112. Meier, H. E. M., K. Eilola, B. G. Gustafsson, I. Kuznetsov, T. Neumann, and O. P. Savchuk, (2012)
Uncertainty assessment of projected ecological quality indicators in future climate
113. **Vakant – kommer ej att utnyttjas!**
114. Domnina, Anastasia¹. Chubarenko, Boris¹ (2012) *Atlantic Branch of P.P. Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Kaliningrad, Russia.*¹
“Discussion on the Vistula Lagoon regional development considering local consequences of climate changes Interim report on the ECOSUPPORT BONUS+project No. 08-05-92421.
115. K. Eilola¹, J.L.S. Hansen⁴, H.E.M. Meier¹, M.S. Molchanov³, V.A. Ryabchenko³ and M.D. Skogen² (2013)
¹Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Sweden. ²Institute of Marine Research, Norway. ³St. Petersburg Branch, P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russia. ⁴Department of Bioscience, Aarhus University, Denmark
Eutrophication Status Report of the North Sea, Skagerrak, Kattegat and the Baltic Sea: A model study. Present and future climate
117. Kari Eilola¹, Elin Almroth-Rosell¹, Moa Edman¹, Tatjana Eremina³, Janus Larsen⁴, Urszula Janas², Arturas Razinkovas-Basiukas⁶, Karen Timmermann⁴, Letizia Tedesco⁵, Ekaterina Voloshchuk³ (2015)
¹Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping, Sweden. ²Institute of Oceanography, Gdansk University, Poland. ³Russian State hydrometeorological University, Sankt-Petersburg, Russia. ⁴Aarhus University, Roskilde, Denmark. ⁵Finnish Environment Institute, Helsinki, Finland. ⁶Coastal and Planning Research Institute, Klaipeda, Lithuania.
Model set-up at COCOA study sites
118. Helén C. Andersson, Lena Bram Eriksson, Niclas Hjerdt, Göran Lindström Ulrike Löptien och Johan Strömqvist. (2016)
Översikt av beräkningsmodeller för bedömning av fiskodlingars näringsämnesbelastning på sjöar, vattendrag, magasin och kustvatten
119. Ivan Kuznetsov, Kari Eilola, Christian Dieterich, Robinson Hordoir, Lars Axell, Anders Höglund and Semjon Schimanke. (2016)
Model study on the variability of ecosystem parameters in the Skagerrak - Kattegat area, effect of load reduction in the North Sea and possible effect of BSAP on Skagerrak - Kattegat area
120. Johannes Johansson, Martin Hansson (2016)
Slutrapport 2015 för uppdraget
”Databaslagring av historiska fys/kemdata från Stockholm Vatten
”Datavärdskapet Oceanografi och Marinbiologi
121. Arnold Andreasson, Patrik Strömberg, Maria Prager, Nils Nexelius (2016)
Automatisering av nationellt dataflöde till ICES genom skördning - en förstudie
122. Anders Höglund (2016)
Invasive species in the Baltic Sea A model study of plankton transport
123. Sofie Schöld, Sverker Hellström, Cajsa-Lisa Ivarsson, Per Kållberg, Helma Lindow, Signild Nerheim, Semjon Schimanke, Johan Södling och Lennart Wern (2017)
Vattenståndsdynamik längs Sveriges kust

116. **Vakant – kommer ej att utnyttjas!**

124. Johan Södling, Signild Nerheim (2017)
Statistisk metodik för beräkning av extrema havsvattenstånd
125. Lasse Johansson, Walter Gyllenram, Maria Andersson och Signild Nerheim (2017)
Lokala effekter på extrema havsvattenstånd
126. Josefina Algotsson, Frank Van Der Stelt and Diala Abdoush (2019)
Swedish coastal water bodies on Wikidata
Combining WFD data with Wikidata
127. Josefina Algotsson, Moa Edman (2019)
Förslag till statusklassning av parameter 9.5
Sötvatteninflöde och vattenutbyte i
kustvatten och vatten i övergångszon En
jämförelse mellan Kustzonsmodellens
naturliga och normala uppsättning
128. Moa Edman, Jörgen Sahlberg (2019)
The Swedish Coastal zone Model (SCM)
129. Per Pemberton Lisa Lind, Anette Jönsson,
Lars Arneborg, Lars Axell Magnus
Hieronymus (2021)
Framtida isutbredning i svenska farvatten.
Analys av isförhållanden runt år 2040-2070
130. Jörgen Öberg (2022)
Cyanobakterier i Östersjön sommaren 2021
131. Anna Willstrand-Wranne, Martin Hansson,
Johanna Linders, Fredrik Waldh, Karin
Wesslander, Daniel Bergman-Sjöstrand,
Maria Nordström, Raul Salas Labadia, Erik
Udén, Markus Lindh
Bottenmonterade mätsystem 2020-2021
132. Jörgen Öberg, Ann-Turi Skjevik, Johannes
Johansson (2022)
Cyanobakterier i Östersjön sommaren 2022

Denna sida är avsiktligt blank



Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
601 76 NORRKÖPING
Tel 011-495 80 00 Fax 011-495 80 01

ISSN 0283-7714 © SMHI

