



MARINE OMRÅDER 2015

NOVANA

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 208

2016



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

[Tom side]

MARINE OMRÅDER 2015

NOVANA

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 208

2016

Jens Würgler Hansen (red.)

Aarhus Universitet, Institut for Bioscience



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 208
Titel:	Marine områder 2015
Undertitel:	NOVANA
Forfatter:	Jens Würgler Hansen (red.)
Institution:	Aarhus Universitet, Institut for Bioscience
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	Januar 2017
Redaktion afsluttet:	Oktober 2016
Faglig kommentering:	Medarbejdere i Styrelsen for Vand- og Naturforvaltning; DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi; Bo Riemann, Institut for Bioscience, Aarhus Universitet
Kvalitetssikring, DCE:	Poul Nordemann Jensen
Finansiel støtte:	Miljø- og Fødevareministeriet
Bedes citeret:	Hansen, J.W. (red.) 2016: Marine områder 2015. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 148 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 208 http://dce2.au.dk/pub/SR208.pdf
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	I 2015 blev de senere års positive udvikling i havmiljøet fastholdt for nogle parametre, mens der var en mindre tilbagegang for andre parametre. Året var karakteriseret ved en stor afstrømning og dermed tilførsel af næringsstoffer fra land i starten og slutningen af året, relativt høje temperaturer og en del vind hen over sommeren. Til trods for den store afstrømning i årets start var næringsstofkoncentrationerne hovedsageligt lave, og i enkelte tilfælde de hidtil laveste siden 1989. Væksten (primærproduktion) og mængden af planteplankton (klorofyl) var generelt på et forholdsvis lavt niveau, mens vandets klarhed var gennemsnitligt for perioden siden 1989. Forholdene i de frie vandmasser var således relativt gode, om end de var lidt dårligere end i 2013 og 2014. Dybdeudbredelsen af makroalger på stenrev var, i overensstemmelse med de senere års relativt gode forhold i de frie vandmasser, markant forøget i forhold til de tidligste registreringer og på niveau med udbredelsen de seneste år. Iltsvindets udbredelse var på samme niveau som i 2014 til trods for en forventning om bedre iltforhold grundet lavere temperaturer og markant mere vind. Bundfaunaen i fjordene er reduceret i antal, biomasse og biodiversitet i perioden 1998-2015, mens der ikke er sket nogen tydelige udvikling for bundfaunaen ved kysterne. Bundfaunaen i de åbne indre farvande er de seneste år øget i antal, biomasse og biodiversitet efter mange års tilbagegang. Bestanden af spættet sæl er mangedoblet over en længere årrække men har været rimelig stabil de sidste par år, hvor gråsæl er steget markant. Tætheden af marsvin varierer meget fra år til år uden tydelig udviklingstendens. Til trods for de senere års observerede forbedringer af miljøtilstanden viste udviklingen i 2015, at de danske farvande fortsat er meget sårbare over for påvirkninger og endnu langt fra en stabil og god miljøtilstand. Ud over tilførslen af næringsstoffer (eutrofiering) påvirkes miljøtilstanden negativt af mange andre forhold såsom fiskeri, klimaforandringer og miljøfarlige stoffer. De fleste miljøfarlige stoffers koncentration var på niveau med eller lavere end tidligere, men koncentrationerne af især kviksølv, organotin (TBT), enkelte tjærestoffer (PAH) og bromerede flammehæmmere (PBDE) var flere steder så høje, at disse stoffer kan have uønskede effekter i vandmiljøet. Sammenfattende viser dataene fra det nationale overvågningsprogram, at indsatsen for at sikre et bedre havmiljø virker. Men havmiljøet er fortsat sårbart, og dets respons på ændringer i påvirkninger er meget komplekst og tager lang tid.
Emneord:	Overvågning, marine områder, miljøtilstand, klima, næringsstoffer, iltsvind, ålegræs, makroalger, bundfauna, miljøfarlige stoffer, plankton, monitoring, marine areas, environmental quality, climate, nutrients, hypoxia, eelgrass, macroalgae, bottom fauna, hazardous substances
Layout og sproglig kvalitetssikring:	Anne van Acker
Illustrationer:	Forfatterne/Anne van Acker
Foto forside:	Levende havbund i Kattegat med muslinger, søstjerner, krabbe, søanemone og ålegræs. Foto Michael Bo Rasmussen
ISBN:	978-87-7156-238-5
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	148
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som http://dce2.au.dk/pub/SR208.pdf
Supplerende oplysninger:	NOVANA er et program for en samlet og systematisk overvågning af både vandig og terrestrisk natur og miljø. NOVANA erstattede 1. januar 2004 det tidligere overvågningsprogram NOVA-2003, som alene omfattede vandmiljøet.

Indhold

Forord	5
Sammenfatning	6
Summary	11
1 Indledning	12
Del 1 – Påvirkninger af de danske farvande	18
2 Klimatiske forhold	20
3 Næringsstofftilførsler fra land	28
4 Kvælstoftilførsel fra luft	29
Del 2 – Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten	30
5 Næringsstofkoncentrationer	32
6 Planteplankton, dyreplankton og vandets klarhed	46
7 Iltforhold	60
8 Bundplanter og makroalger på stenrev	69
9 Bundfauna	75
10 Havpattedyr – sæler og marsvin	88
11 Miljøfarlige stoffer og biologiske effekter	101
Del 3 – Sammenfattende diskussion	120
12 Tilstand og udvikling	121
13 Ordliste	127
14 Referencer	134
Bilag 1 Beskrivelse af anvendte indeks og korrektioner for klimatiske variationer	144

[Tom side]

Forord

Denne rapport udgives af DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet (DCE) som et led i den landsdækkende rapportering af det Nationale program for Overvågning af Vandmiljøet og Naturen (NOVANA). NOVANA er fjerde generation af nationale overvågningsprogrammer, som med udgangspunkt i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram blev iværksat efteråret 1988. Nærværende rapport omfatter data til og med 2015.

Overvågningsprogrammet er målrettet mod at tilvejebringe det nødvendige dokumentations- og videngrundlag til at understøtte Danmarks overvågningsbehov og -forpligtelser, bl.a. i forhold til en række EU-direktiver inden for natur- og miljøområdet. Programmet er løbende tilpasset overvågningsbehovene og omfatter overvågning af tilstand og udvikling i vandmiljøet og naturen, herunder den terrestriske natur og luftkvalitet.

DCE har som en væsentlig opgave for Miljø- og Fødevareministeriet at bidrage med forskningsbaseret rådgivning til styrkelse af det faglige grundlag for miljøpolitiske prioriteringer og beslutninger. Som led heri forestår DCE med bidrag fra Institut for Bioscience og Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet den landsdækkende rapportering af overvågningsprogrammet inden for områderne ferske vande, marine områder, landovervågning, atmosfæren samt arter og naturtyper.

I overvågningsprogrammet er der en arbejds- og ansvarsdeling mellem fagdatacentre og Styrelsen for Vand- og Naturforvaltning (SVANA) (tidligere Naturstyrelsen). Fagdatacentret for grundvand er placeret hos De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), fagdatacentret for punktkilder hos Styrelsen for Vand- og Naturforvaltning, mens fagdatacentre for vandløb, søer, marine områder, landovervågning samt arter og naturtyper er placeret hos Institut for Bioscience, Aarhus Universitet og fagdatacentret for atmosfæren hos Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet.

Denne rapport er udarbejdet af Det Marine Fagdatacenter, og den har været i høring hos SVANA. Rapporten er baseret på data indsamlet af det daværende Naturstyrelsens forvaltningsenheder, Det Marine Fagdatacenter, Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI), Institute of Marine Research in Kiel (IMR) og International Council for the Exploration of the Sea (ICES).

Konklusionerne i denne rapport sammenfattes med konklusionerne fra de øvrige fagdatacenter-rapporter i 'Vandmiljø og natur 2015', som udgives af DCE, GEUS og SVANA.

Sammenfatning

Jens Würgler Hansen

Den landsdækkende status for havmiljøet i 2015 kan sammenfattes i nedenstående hovedpunkter.

Klimatiske forhold

- Året 2015 var varmere end normalperioden 1961-1990, men på niveau med gennemsnittet for årene efter 2000. Specielt vinter- og efterårsmånederne var milde, hvorimod maj, juni og juli var forholdsvis kolde sammenholdt med de senere år.
- Vindhastigheden i 2015 var under niveauet for normalperioden (1961-1990) igennem hele året med undtagelse af maj og december, men vinden var relativ kraftig sammenlignet med niveauet i perioden efter 1995. Vinden kom hovedsageligt fra sydvestlige retninger med undtagelse af august og oktober, hvor den slog om til mere østlige retninger, hvilket medførte større udstrømning af Østersøvand.
- Året 2015 var meget regnfuldt og specielt januar, november og december var våde. Antallet af solskinstimer var på niveau med de senere år.
- Vandtemperaturerne i 2015 var gennemsnitlige for perioden efter 2000, men varmere end gennemsnittet for normalperioden 1961-1990. I fjorde og kystnære områder og i overfladevandet i de åbne indre farvande var vandet henholdsvis 1,1 °C og 1,3 °C varmere end gennemsnittet for normalperioden. Bundvandet var 1,1 °C varmere end gennemsnittet for normalperioden.
- Havtemperaturen er generelt steget 1-1,5 °C i løbet af de sidste 30-40 år, men efter rekordvarme 2014 var temperaturen i 2015 mere normal sammenlignet med de senere år.
- Siden midten af 1980'erne er havvandet blevet mere surt (ca. 0,2 pH lavere i de åbne indre farvande og ca. 0,1 pH lavere i fjorde og kystnære områder).

Koncentrationer af næringsstoffer

- Kvælstofkoncentrationerne i 2015 var, sammenlignet med langtidsmidlen for 1989-2014, generelt lave for fjorde, kyster og åbne indre farvande med undtagelse af januar-februar og november-december, hvor stor afstrømning fra land gav højere koncentrationer.
- Fosforkoncentrationerne i 2015 var på niveau med de senere år, dog med lave fosfatkoncentrationer i foråret som følge af et større optag grundet de højere vinterkvælstofniveauer. Tilsvarende var mængden af organisk fosfor højere i foråret.
- Den potentielle kvælstofbegrænsning i fjorde og kystnære områder var i 2015 mindre end de senere år, hvilket skyldes den større afstrømning i vintermånederne. I de åbne indre farvande var den potentielle kvælstofbegrænsning derimod lige så stor som i de seneste ca. 15 år.
- Den potentielle fosforbegrænsning var stor i fjorde og kystnære områder som følge af det større optag af fosfat i forårsmånederne. I de åbne indre farvande var den potentielle fosforbegrænsning på niveau med de senere år.
- Generelt er udviklingen i koncentrationen af opløst uorganisk kvælstof i overfladevandet stagneret, hvorimod de organiske kvælstofkoncentrationer fortsat falder. Korrigeres der for afstrømningen var kvælstofkoncentrationerne i 2015 meget lave.

- Fosforkoncentrationerne faldt kraftigt i 1990'erne, men der er ikke sket yderligere fald siden 1998. I de åbne indre farvande er der faktisk en mindre stigning i fosforkoncentrationer i de seneste 10-15 år, hvilket formentlig skyldes stigende koncentrationer i Østersøen.
- De aftagende næringsstoffkoncentrationer tilskrives i stor udstrækning spildevandsrensning af fosfor og en reduktion i tabet af kvælstof fra landbrugsproduktionen. Der er altså en tydelig positiv effekt af den danske indsats for at reducere tilførsler af næringsstoffer til vandmiljøet. I den danske del af Nordsøen og Skagerrak er de totale koncentrationer af kvælstof og fosfor faldet henholdsvis siden 1996 og 1989, men i 2014 og 2015 år har næringsstoffkoncentrationerne dog været relativt høje.

Planteplankton, dyreplankton og sigtddybde

- I perioden 2013-2015 blev der observeret en mindre forværring i miljøtilstanden i de åbne indre farvande med stigende klorofylkoncentrationer og mere uklart vand. Miljøtilstanden i de fri vandmasser i 2015 var dog generelt stadig forbedret med mindre algevækst, lavere koncentrationer af alger (målt som klorofyl) og klarere vand i forhold til 1980'erne og 1990'erne.
- Generelt har algevæksten været aftagende i både fjorde og kystnære områder med ændringer fra -1 til -5 % pr. år.
- Der var signifikante sammenhænge mellem danske landbaserede tilførsler af kvælstof og algevæksten i både fjorde og kystnære områder og åbne indre farvande, og algevæksten ændredes med typisk 0,3 % pr. procent ændring i kvælstoftilførslerne.
- Biomassen af planteplankton, målt som kulstofbiomasse, steg svagt men signifikant i perioden 1989-2015 i fjorde og kystnære områder, mens biomassen har varieret omkring et konstant niveau i de åbne indre farvande.
- Forholdet mellem kiselalger og furealger var ca. dobbelt så stort i fjorde og kystnære områder som i de åbne indre danske farvande, men har været konstant for begge områder i perioden 1989-2014.
- Der blev fundet koncentrationer af de potentielt giftige alger *Pseudo-nitzschia* spp. og *Dinophysis* spp. i fjorde og kystnære områder samt i de åbne indre farvande, der oversteg månedsmidlen for perioden 1988-2014. Derudover var biomassen af *Pseudo-nitzschia* spp. større end normalt mod årets afslutning.
- Slægten *Alexandrium*, der kan have skadelige økofysiologiske effekter, spillede en minimal rolle i det pelagiske stofkredsløb i de danske havområder i 2015.
- Årsmidlerne af biomassen af mikro-dyreplankton var fortsat lave i 2015.

Iltsvind

- Iltsvindet udviklede sig markant igen i 2015 i en række områder til trods for en relativ kølig og blæsende sommer. Iltsvindet i 2015 var desuden kendetegnet ved at starte forholdsvis tidligt og slutte relativt sent i de hårdest ramte områder.
- De mere blæsende forhold i 2015 betød, at en del af de mere lavvandede områder, især Limfjorden, oplevede markant mindre iltsvind i 2015 end i 2014.
- Det udbredte iltsvind i 2015 trods relativ meget vind skyldes formodentlig delvist det meget intensive, udbredte og langstrakte iltsvind i 2014, som har gjort farvandene mere sårbare for udvikling af iltsvind.
- De tidligst registrerede iltsvind uden for de permanente iltsvindsområder var i starten af juni (Aabenraa Fjord og Flensborg Fjord). Der var fort-

sat iltsvind enkelte steder ved iltsvindsrapporteringens afslutning midt i november.

- Det totale iltsvindsareal i september 2015 var på niveau med 2013 og 2014 og dermed større end for 2010-2012. En tredjedel af iltsvindsarealet var påvirket af kraftigt iltsvind.
- Særlig berørte områder, hvad angår varighed og intensitet af iltsvind, var Lillebælt og tilstødende østjyske fjorde, Det Sydfynske Øhav, Femern Bælt og Lübeck Bugt. I disse områder blev der registreret frigivelse af svovlbrinte fra havbunden.
- Iltindholdet i bundvandet i fjorde og kystnære områder har varieret inden for et forholdsvis snævert interval og var i 2015 blandt de lavest registrerede siden starten af 1980'erne.
- Iltindholdet i bundvandet i de åbne indre farvande har varieret men overordnet været faldende siden midten af 1960'erne. Den svage tendens til en positiv udvikling siden 2003 blev brudt med de relativt lave værdier i 2014 og 2015.

Bundplanter

- Set over hele overvågningsperioden (1990-2015) har der været en signifikant positiv udviklingstendens i både makroalgernes gennemsnitlige totale og kumulerede dækningsgrad på stenrev i de åbne farvande.
- Den totale algedækning på de undersøgte fem stenrev i Natura 2000-områder i Kattegat var generelt god i 2015 og stort set på niveau med dækningsgraderne i 2013 og 2014.

Bunddyr

- Der var ikke sket nogen generel ændring af individtætheden og biomassen af bunddyr de seneste år vurderet på grundlag af prøver fra 47 vandområder i 2011, 2013 og 2015. Artsantallet (biodiversiteten) var lidt, men signifikant, højere i 2013, mens artsantallet i 2011 og 2015 var på det samme niveau.
- Langtidsudvikling i perioden 1998-2015 af artsantal, individtæthed og biomasse viste tydelige forskelle mellem fjordene og de åbne kyster. For parametrene var der et fald i fjordene, mens der ingen ændring var i de åbne kyster.
- På HELCOM-stationer i de åbne farvande var artsantallet steget siden 2013 og på det næsthøjeste niveau siden 1994. Med data for 2015 var det tredje gang siden 1994, hvor der er observeret en markant stigning i biodiversiteten på stort set samtlige stationer inden for den samme periode.
- Undersøgelser i regi af havstrategidirektivet af syv stationsområder i Kattegat viste høje værdier for artsantallet og bekræftede dermed resultaterne fra HELCOM-overvågningen.
- I sammenligning med Kattegat viste overvågningen af Nordsøen væsentligt lavere værdier for tæthed og artsantallet. Årsagen til det lave artsantal i Nordsøen er ukendt.
- Bestanden af almindelig hestemusling (*Modiolus modiolus*) synes at være på retur på flere af de revlokaliteter, som overvåges under NOVANA-programmet.

Sæler og marsvin

- Spættet sæl er den mest almindelige sælart i Danmark og har haft en bestandsfremgang fra ca. 2.000 dyr i 1976 til ca. 17.000 dyr i 2015, hovedsageligt som følge af jagtfredningen i 1977 samt oprettelsen af en række sælreservater med adgangsforbud.

- Spættet sæl er opdelt i fire populationer: Vadehavet, Kattegat, den vestlige Østersø og Limfjorden med vækstrater, siden epidemien i 2002, for de første tre områder på henholdsvis 9 %, 7 % og 12 %.
- Gråsælen har vist fremgang i de seneste 10 år, og i 2015 blev der registreret op til 111 individer i Kattegat, 164 i Vadehavet og 850 i den danske del af Østersøen.
- Op til seks gråsæler fødes nu hvert år i Danmark (første fødsel i 2003) efter ca. hundrede års pause.
- I den sydlige Nordsø og Skagerrak/nordlige Nordsø observeredes hhv. 24 marsvin (0,03 indv./km) og 85 marsvin (0,11 indv./km). I Nordsøen er det den laveste tæthed observeret siden tællingerne startede i 2011. I Skagerrak svarer tætheden til tidligere tællinger. Den store variation imellem optællingerne indikerer, at marsvins brug af N2000-områderne i Nordsøen og Skagerrak afhænger af faktorer, der varierer mellem år – fx mængden af byttedyr.
- Overvågning i Storebælt, Kalundborg Fjord, Lillebælt, Flensborg Fjord, Femern Bælt og nordlige Øresund viste, at marsvin var til stede i alle områder, men at tætheden varierede over året. Der er indikationer på, at marsvins brug af områderne er stabil.

Miljøfarlige stoffer og biologiske effekter

- Det overordnede billede af den tidlige udvikling af niveauet af de forskellige stofgrupper er faldende eller ingen trends for perioden 2004-2015. Dette gælder dog ikke for visse metaller som cadmium og bly, hvor der er observeret stigende trends i muslinger og fisk i nogle områder.
- I 2015 var koncentrationsniveauer af en række miljøfarlige stoffer i sediment, muslinger og/eller fisk fra de danske farvande højere end EU's miljøkvalitetskrav (dvs. EQS-værdier), de nationale fastsatte miljøkvalitetskrav (MKK) eller andre sammenlignelige internationale miljøvurderingskriterier (dvs. OSPARs EAC- eller ERL-værdier). Dette gjaldt for kviksølv (Hg) og andre tungmetaller, organotin (TBT), tjærestoffer (PAH) og bromerede flammehæmmere (for PBDE, men ikke for HCBDD). For disse stoffer er der en risiko for, at de kan have uønskede effekter i vandmiljøet og dermed have betydning for, om lokale danske vandområder kan opnå god økologisk tilstand. Der var dog ingen umiddelbare overskridelser af de fastsatte fødevarekrav. For andre stofgrupper som perfluorerede stoffer (PFAS), klorerede pesticider (DDT, HCH og lign.), dioxiner og PCB, blev der ikke fundet overskridelser af de anvendte miljøvurderingskriterier, selvom der lokalt var forhøjede niveauer.
- Indholdet af alle metaller og organiske stoffer i sedimentprøver fra Nordsøen var under OSPARs BAC-niveau før normalisering. Men efter normalisering var indholdet generelt på niveau med koncentrationerne i de indre danske farvande.
- Hg: Indholdet af Hg i alle fiskeprøver overskred EU's EQS-værdi med 2-13 gange. I 36 % af muslingerne var EQS-værdien også overskredet. For sediment var 37 % over ERL-værdien.
- Andre tungmetaller: I muslinger var niveauet af Cd og Pb over de nationale fastsatte MKK-værdier i hhv. 34 % og 72 % af prøverne. Fødevarekravene var dog ikke overskredet i hverken muslinger eller fisk, hvis der ses bort fra indholdet af Cd i to leverprøver fra fisk. I sediment var indholdet af tungmetallerne Cd, Pb, Cu, Zn, Cr og Zn højere end OSPARs ERL-værdier i 8-29 % af de analyserede prøver.
- TBT: I muslinger var niveauet af TBT over EAC-værdien i 47 % af prøverne. For sediment var 33 % af prøverne over det svenske miljøkvalitetskrav svarende til EQS for sediment.

- PAH: I muslinger var niveauet af benzo(b,j,k)fluoranthen over EQS-værdien i 27 % af prøverne, mens niveauerne ikke var overskredet for de andre PAH'er. For sediment forekom der overskridelser af OSPARs ERL-værdier for benzo(ghi)perylene i 83 % af prøverne, samt fluoranthen og benz(a)anthracen i en prøve efter normalisering til 2,5 % TOC.
- Dioxinlignende stoffer og PCB: Indholdet af de dioxinlignende stoffer var i alle prøver af fisk og muslinger under EQS-værdien. For PCB-congenerne CB118 og CB153 i fisk lå niveauet i alle prøver af skrubbe også under OSPARs EAC-værdi. Dioxinlignende stoffer blev påvist i alle sedimentprøver, men der forefindes ingen BAC-, EAC-, EQS- eller MKK-værdier for disse.
- PBDE: Indholdet af PBDE i alle prøver af fisk overskred EU's EQS-værdi med 16-37 gange.
- Alkylphenoler og blødgørere (phthalater): Der er nationale kvalitetskrav til nonylphenol og octylphenol i sediment, og nonylphenol overskred disse i tre prøver. Octylphenolerne detekteres sjældnere, og ingen af de detekterede niveauer var over MKK. Phthalater blev påvist i alle prøver, de højeste værdier for DINP og DEHP. Men der er ikke vurderingskriterier for disse stoffer.
- Biologiske effekter: Trods et stort fald i forekomsten af imposex i de åbne farvande siden forbuddet mod brugen af TBT i 2003 viste undersøgelserne i 2015, at der i Kattegat og Storebælt stadigvæk kan forekomme forhøjede niveauer af imposex, som ligger over den fastsatte EAC-værdi. Belastningen med TBT og de deraf følgende effekter udgør derfor stadigvæk et miljøproblem i det danske havmiljø.

Summary

In 2015, the positive development from previous years was maintained for some parameters while there was a small decline for other parameters. The year was characterised by a high run-off and accordingly high input of nutrients from land during the beginning and the end of the year, relatively high temperatures and a windy summer. Despite the relatively large run-off at the beginning of the year, the nutrient concentrations were mainly low, and in a few cases the lowest since 1989.

The growth (primary production) and the amount (chlorophyll) of phytoplankton were generally at a low level, whereas the water clarity was on average level for the period since 1989. The status of the water bodies were thus relatively good, however, slightly worse than in 2013 and 2014.

In accordance with the relatively good status of the water bodies, the depth distribution of macro algae on stone reefs had increased significantly compared to the earliest registrations and on level with the distribution in recent years.

The development of oxygen depletion was on the same level as in 2014 despite an expectation of improved conditions due to lower temperatures and more windy conditions.

The bottom fauna in the fjords has reduced in abundance, biomass and biodiversity during the period 1998-2015, whereas there has been no significant trend for bottom fauna along the coasts within the same period. In recent years, the bottom fauna in the open inner waters has increased in abundance, biomass and biodiversity after many years of decline.

The population of harbour seal has multiplied several times since 1970s but has been reasonably stable the last couple of years, and grey seal has increased significantly in numbers. The abundance of harbour porpoise varies a lot from year to year without any clear trend.

In spite of improved status of the environment in recent years, the changes in 2015 demonstrated that the Danish waters are still very vulnerable to stress and still far away from the objective of a stable, good environmental status. In addition to the load of nutrients (eutrophication), the environmental status is also affected negatively by many other conditions such as fishery, climate change and hazardous substances.

The concentrations of most of the hazardous substances were at the same levels, or lower, as in previous years, but especially the concentrations of mercury, TBT, a few tar compounds (PAH) and brominated flame retardants (PBDE) were so high at several locations that adverse biological effects might occur.

In summary, the data from the national monitoring programme showed that the effort to secure an improved marine environment has succeeded. The marine environment is, however, still vulnerable to stress and the response of the marine environment to reduced stress is very complex, impressionable and takes a long time.

1 Indledning

Jens Würgler Hansen & Cordula Göke

De voldsomme iltsvind i 1980'erne, specielt i 1981 og 1986, førte til, at Folketinget i foråret 1987 vedtog Vandmiljøplan I. Formålet med planen var at rette op på vandmiljøet i Danmark ved samlet at reducere tabet af kvælstof og fosfor fra landbrug, renseanlæg og industri med hhv. 50 % og 80 %. Reduktionsmålene fra Vandmiljøplan I blev fastholdt i Vandmiljøplan II fra 1998. Med Vandmiljøplan III fra 2004 kom der ekstra fokus på landbrugets tab af fosfor med krav om en halvering af fosforoverskuddet fra markerne inden 2015 kombineret med en yderligere reduktion af kvælstofudvaskningen på mindst 13 % ligeledes inden 2015. Efterfølgende blev der indgået en politisk aftale 'Grøn Vækst' om supplerende tiltag – herunder etablering af randzoner langs vandløb. Senest er i 2016 indgået en ny politisk aftale om reguleringen af landbrugsproduktionen, en aftale der oftest omtales som 'Landbrugspakken'. Indsatsen til forbedring af havmiljøet er beskrevet i vandplaner (2009-2015), vandområdeplaner (2015-2021) og havstrategien (2012-2020).

Folketinget vedtog i 1987, at der skulle etableres et landsdækkende overvågningsprogram for en række fysiske, kemiske og biologiske variable (indikatorer) for at kunne følge effekterne af Vandmiljøplan I. Indikatorerne skulle være nogle, der i særlig grad påvirkes af vandmiljøets eutrofieringsgrad, dvs. mængden af organisk stof, kvælstof og fosfor i vandmiljøet. Det første overvågningsprogram blev gennemført i årene 1988-1997 med en mindre revision i 1993 (*Miljøstyrelsen 1989, 1993*). Resultaterne herfra viste, at de variable, man havde valgt i overvågningsprogrammet, generelt var gode til at beskrive effekter af organisk stof, kvælstof og fosfor for vandmiljøets kvalitet og dermed også anvendelige til at dokumentere forbedringer som følge af Vandmiljøplan I.

Indholdet af vandmiljøplanens overvågningsprogram blev i hovedtræk videreført i det reviderede program, NOVA-2003 (*Miljøstyrelsen 2000*), som blev gennemført fra 1998 til 2003. Dog blev det tidligere program udvidet med overvågning af miljøfarlige stoffers forekomst, effekter og skæbne i vandmiljøet. Målehyppigheden blev også intensiveret på bl.a. en række kystnære stationer i de åbne farvande i de marine områder, og selvregistrerende målebøjer og modelberegninger blev inddraget i programmet. Den 1. januar 2004 blev det reviderede Nationale Program for Overvågning af Vandmiljøet og Naturen, NOVANA (*Svendsen m.fl. 2004*) iværksat med biodiversitet og naturtyper som nye elementer i overvågningsprogrammet. Det efterfølgende overvågningsprogram, NOVANA 2011-2015, er tilpasset implementeringen af vandramme- og habitatdirektivet samt i en vis udstrækning havstrategidirektivet. Det betyder bl.a., at den geografiske dækning er øget på bekostning af prøvetagningsfrekvens og tidsserier.

Formålet med overvågningen

NOVANA-programmets overordnede formål på det marine område er at følge udvikling, tilstand og påvirkninger af vandmiljøet.

Overvågningen gennemføres i forhold til behovene ud fra følgende kriterier i prioriteret rækkefølge:

- Opfyldelse af Danmarks forpligtigelser i henhold til EU-lovgivning og national lovgivning om overvågning af natur, vandmiljø og luftkvalitet.
- Dokumentation af effekt og målopfyldelse af nationale handleplaner for vandmiljø og natur, herunder vand- og naturplaner efter Miljømålsloven, tiltag på landbrugsområdet samt det landsdækkende luftkvalitetsmåleprogram.
- Opfyldelse af Danmarks forpligtigelser i henhold til internationale konventioner om natur og miljø.

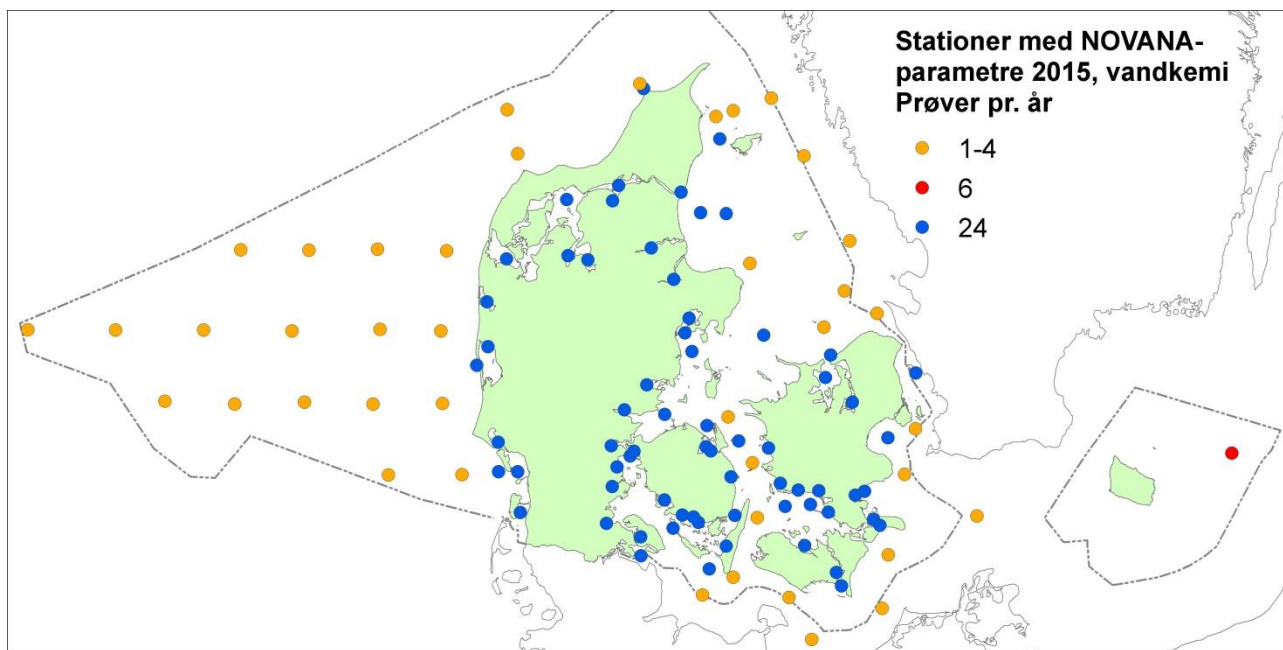
I forlængelse af de overordnede formål skal overvågningen levere datagrundlaget til at:

- beskrive den kvantitative udvikling i en række væsentlige fysiske, kemiske og biologiske variable, som bl.a. omfatter blomsterplanter, plankton, makroalger, bundfauna, vandkemi og miljøfarlige stoffer.
- belyse kvantitative sammenhænge mellem næringsstofftilførsel og biologiske effekter og redegøre for betydningen af variationer i klima og biologisk struktur.
- give aktuel information om iltsvind.
- vurdere langsigtede ændringer pga. menneskelige aktiviteter, herunder ændret klima og habitatkvalitet.
- etablere kvantitative sammenhænge mellem tilførsler og koncentrationer af udvalgte miljøfarlige stoffer i sedimenter og biota i udvalgte områder af kystvandene.

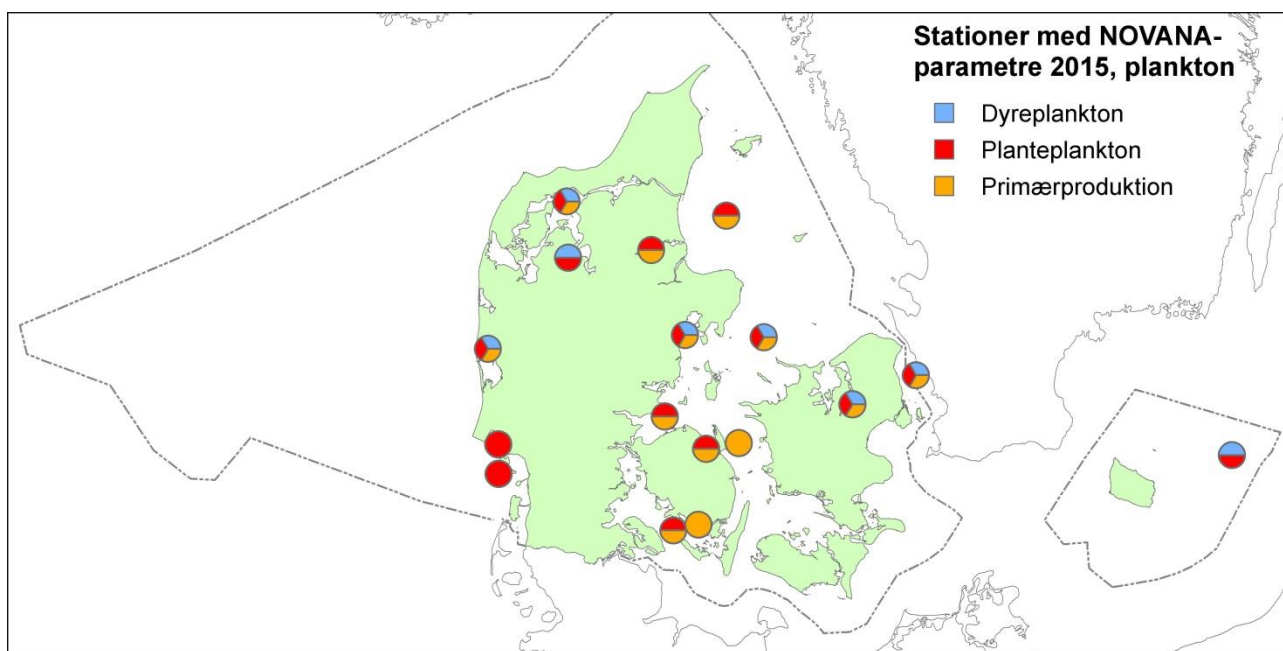
Områder og prøvetagningsprogram

Intensiteten af den nationale overvågning af det marine miljø varierer mellem områderne. Således er tætheden af målestationer samt i nogle tilfælde målefrekvensen og antallet af parametre større i de kystnære områder end i de åbne farvande.

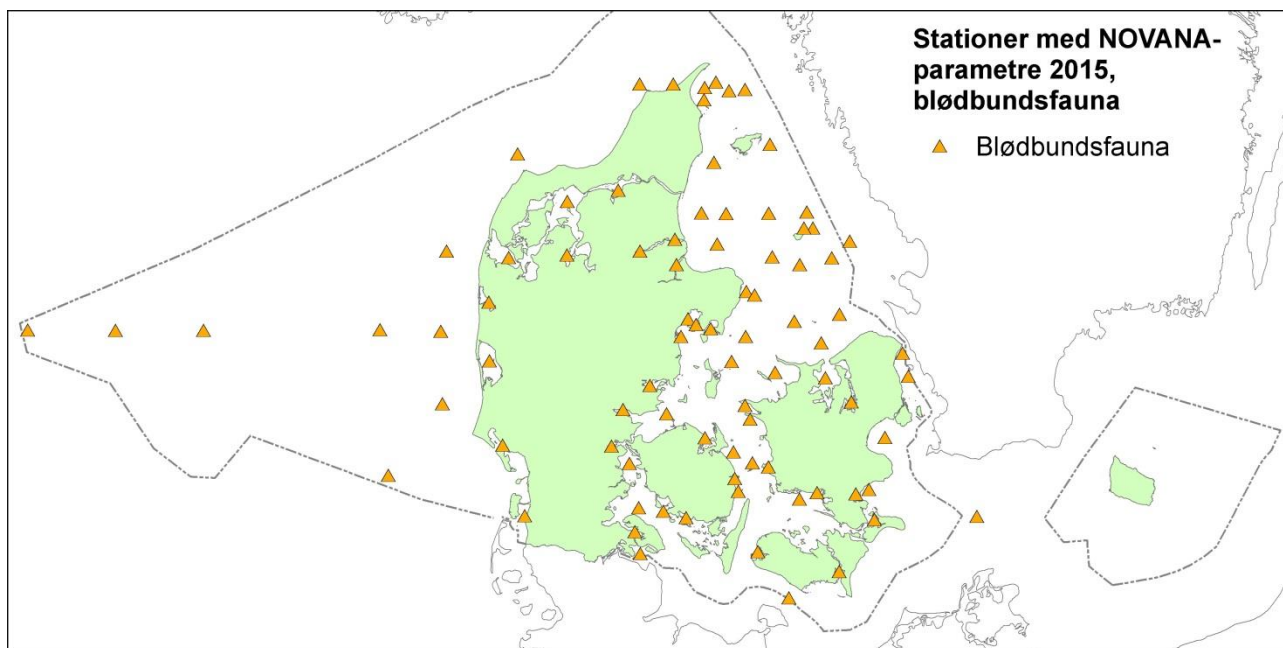
I de forskellige områder og på de forskellige stationstyper er der fokus på følgende tre overordnede elementer: 1) fysiske og kemiske forhold i vandsøjlen, 2) biologiske forhold i vandsøjlen og 3) kemiske og biologiske forhold på bunden. *Figur 1.1-1.7* viser placeringen af NOVANA-stationer i 2015, hvor de forskellige typer målinger er foretaget, som danner grundlaget for denne rapport. I rapporten omtales også overvågning af havpattedyr, og den geografiske fordeling af denne overvågning er beskrevet i kapitlet om havpattedyr.



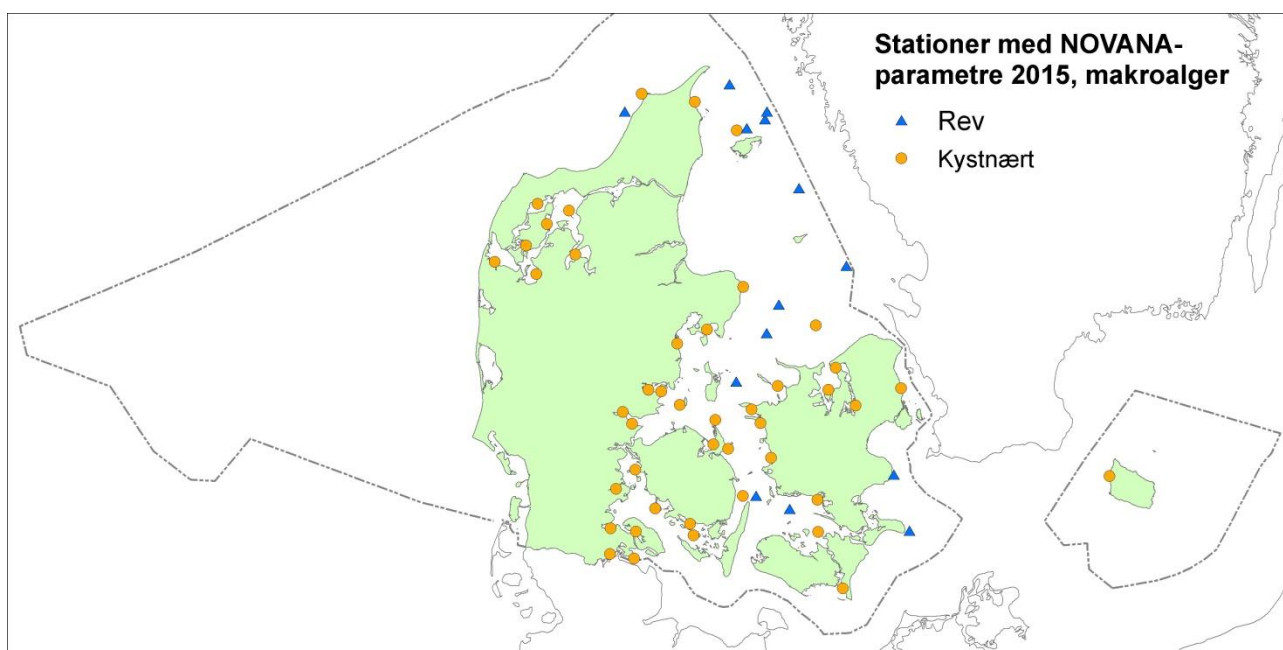
Figur 1.1. Prøvetagningsstationer for vandkemi-, saltholdigheds-, temperatur-, sigtdybde-, klorofyl- og fluorescensmålinger i 2015. Overvågningen af stationen ved Bornholm fordeles i et samarbejde med nabolandene (Tyskland, Sverige og Polen). Afgrænsning af de danske farvandsområder er angivet ved den stiplede linje (EEZ-grænse, Exclusive Economic Zone).



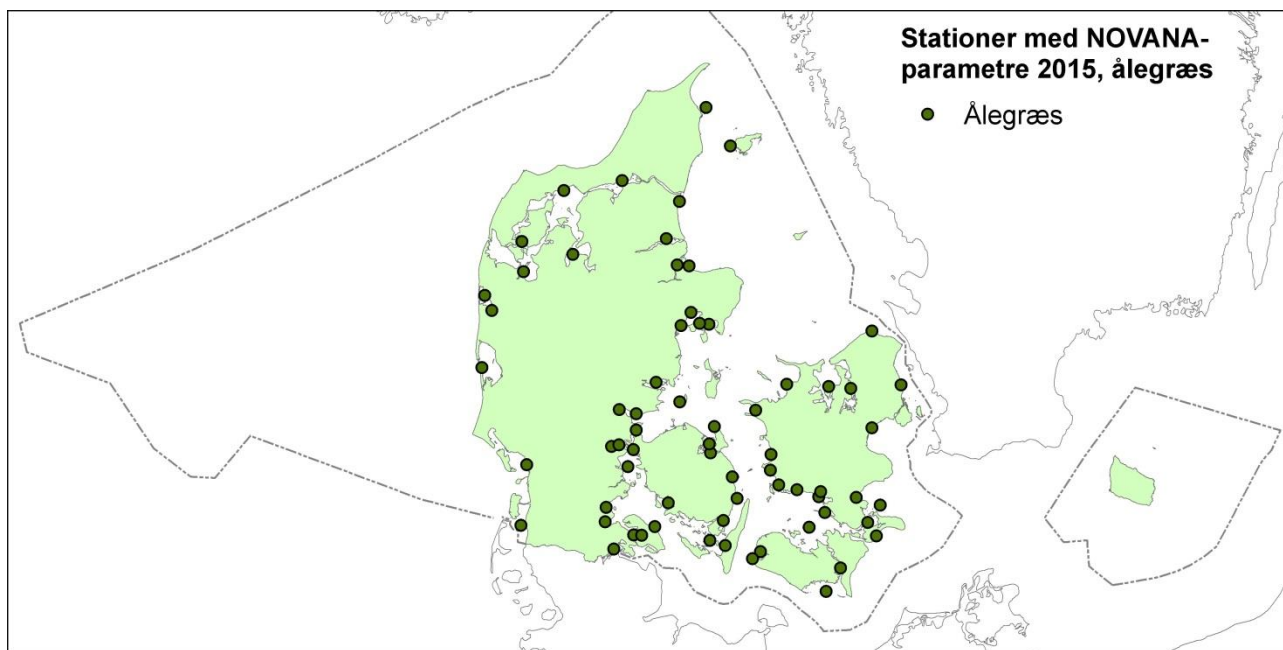
Figur 1.2. Prøvetagningsstationer for dyreplankton, planteplankton og primærproduktion i 2015. Afgrænsning af de danske farvandsområder er angivet ved den stiplede linje (EEZ-grænse, Exclusive Economic Zone).



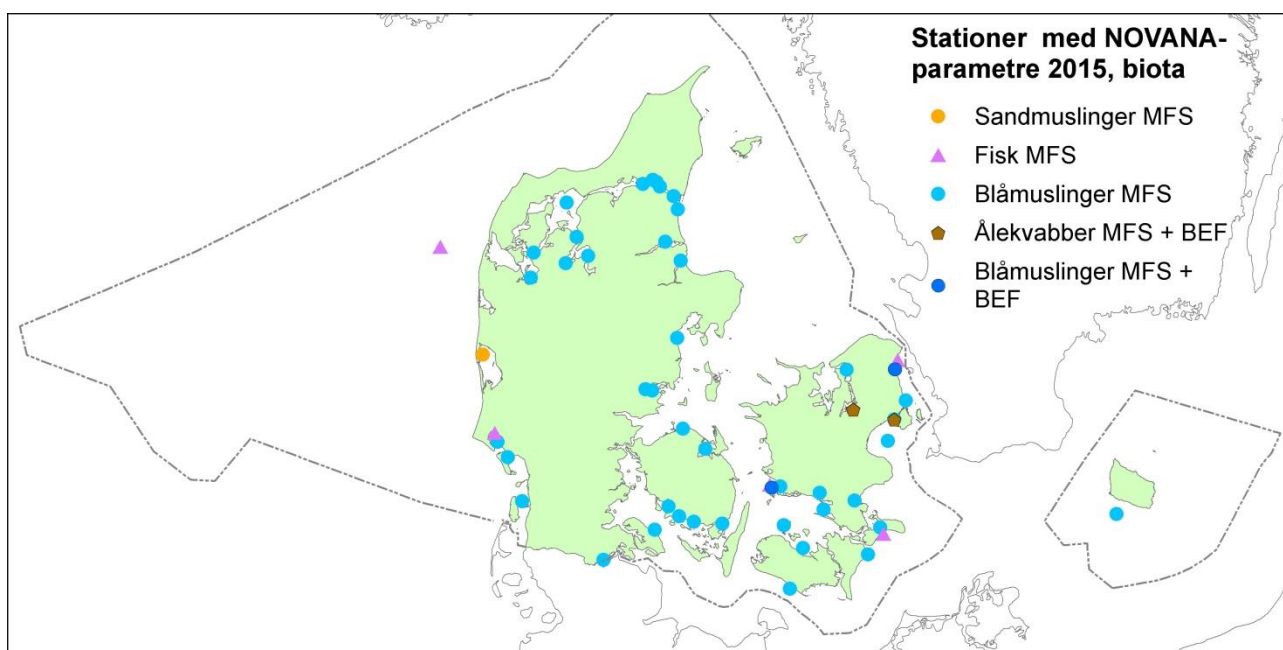
Figur 1.3. Prøvetagningsstationer til undersøgelse af bundfauna i 2015. Afgrænsning af de danske farvandsområder er angivet ved den stiplede linje (EEZ-grænse, Exclusive Economic Zone).



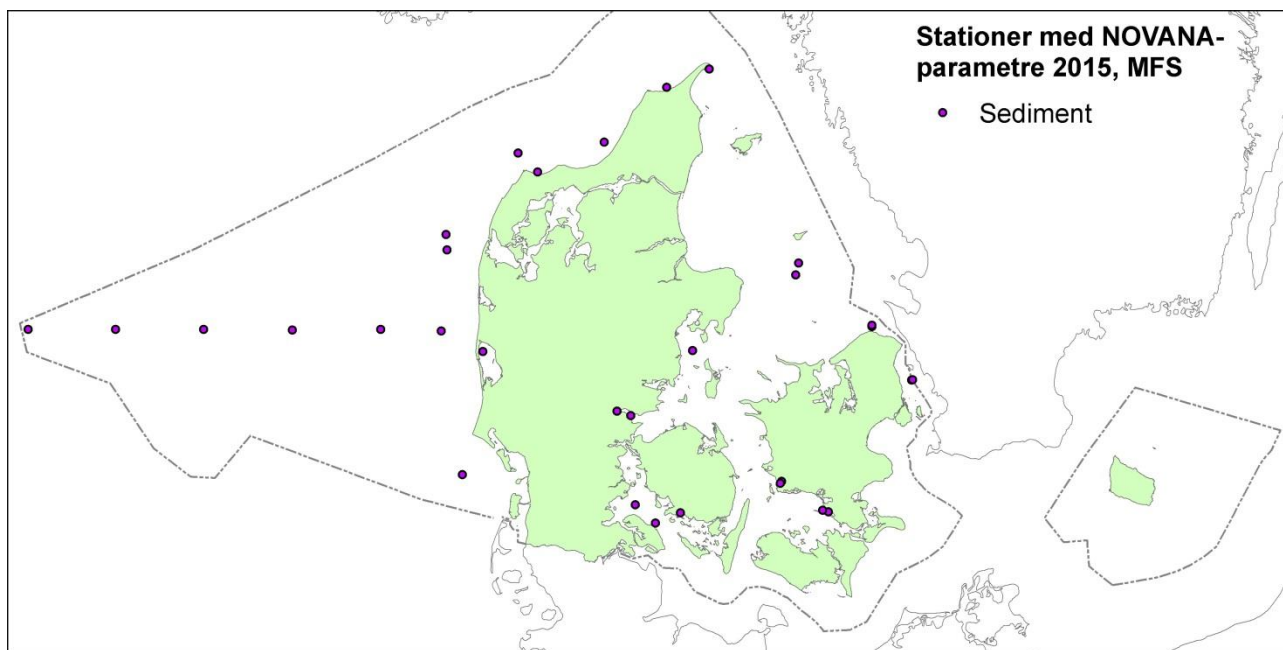
Figur 1.4. Prøvetagningsstationer til undersøgelse af makroalger kystnært og på stenrev i 2015. Afgrænsning af de danske farvandsområder er angivet ved den stiplede linje (EEZ-grænse, Exclusive Economic Zone).



Figur 1.5. Prøvetagningsstationer til undersøgelse af ålegræs i 2015. Afgrænsning af de danske farvandsområder er angivet ved den stiplede linje (EEZ-grænse, Exclusive Economic Zone).



Figur 1.6. Prøvetagningsstationer til undersøgelse af miljøfarlige stoffer (MFS) i biota i 2015. BEF = biologiske effekter. Afgrænsning af de danske farvandsområder er angivet ved den stiplede linje (EEZ-grænse, Exclusive Economic Zone).



Figur 1.7. Prøvetagningsstationer til undersøgelse af miljøfarlige stoffer (MFS) i sedimenter i 2015. Afgrænsning af de danske farvandsområder er angivet ved den stiplede linje (EEZ-grænse, Exclusive Economic Zone).

Del 1 – Påvirkninger af de danske farvande

Jens Würgler Hansen

Miljø- og naturforholdene i de danske farvande er reguleret af de fysiske betingelser og af de menneskeskabte påvirkninger.

De fysiske forhold som vanddybde og bundstruktur er generelt stabile sammenlignet med de betydelige år til år variationer i andre fysiske forhold som ferskvandstilførsel, vandudveksling, strømforhold, saltholdighed, temperatur og lagdeling.

Effekterne af de menneskeskabte påvirkninger varierer i omfang fra år til år og fra område til område dels pga. geografisk og tidslig variation i omfanget og karakteren af de menneskelige aktiviteter, og dels fordi effekten af tab af næringsstoffer og miljøfarlige stoffer til vandmiljøet afhænger af klimatiske forhold som nedbør, vind og temperatur. Udledning af næringsstoffer og miljøfarlige stoffer belaster miljøet, men også fiskeri, klapping af opgravet materiale, skibsfart, offshore industri, anlæg på søterritoriet, rekreative aktiviteter og indførsel af fremmede arter påvirker miljøforholdene.

Tilførslen af næringsstoffer har stor indflydelse på miljø- og naturkvaliteten i farvandene. Udledning af store mængder næringsstoffer (eutrofiering) i vandmiljøet medfører en stor produktion af planteplankton, som gør vandet uklart. Mindre lys når derfor ned til bunden, hvorfor ålegræs og andre blomsterplanter samt makroalger ikke kan vokse til så stor dybde som tidligere. Når planteplanktonet dør, synker det ned på bunden, hvor bakterier bruger ilt til at nedbryde planktonet. Hvis vandsøjlen er lagdelt, og der ikke tilføres tilstrækkeligt med ny ilt til bundvandet, kan der opstå iltvind, så bunddyr og bundplanter dør og fisk flygter. Eutrofiering kan også øge risikoen for opblomstring af giftigt planteplankton, der kan misfarve vandet, danne skum og producere toksiner, som kan dræbe bunddyr og fisk og medføre skaldyrsgiftning af fugle, sæler og mennesker. Eutrofiering fremmer ligeledes væksten af hurtigvoksende makroalger som søsalat og fedtemøg. Makroalgerne skygger for ålegræsset og andre blomsterplanter og udøver fysisk stress på især blomsterplanternes spirer, når algerne, og de sten de er fæstnet til, skurer hen over bunden som følge af kraftig vind og strøm. Desuden kan der ske opskyl af alger i store mængder, hvilket forringer strandenes rekreative værdi. Reduceret udbredelse af ålegræsenge og tangskove samt færre bunddyr giver dårligere betingelser for opvækst af fisk. Eutrofiering påvirker således struktur og funktion af økosystemets komponenter (plankton, bundplanter, bunddyr og fisk), hvilket ofte resulterer i en lavere biodiversitet og et mere sårbart miljø.

Siden sidst i 1980'erne er der sket en markant reduktion i tilførslen af næringsstoffer til vandmiljøet (oligotrofiering). Først førte en forbedring af rensningen af spildevand fra byer og industri til et relativt hurtigt og stort fald i belastningen med fosfor. Siden midten af 1990'erne har der været et stabilt fald i belastningen med kvælstof hovedsageligt som følge af en række tiltag inden for landbruget. Oligotrofiering har bevirket, at koncentrationen af fosfor og kvælstof i havmiljøet er mindsket betydeligt. Det har ført til forbedringer for nogle parametre, mens andre parametre ikke har responderet særlig tydeligt endnu. Oligotrofiering er langt dårligere beskrevet en eutrofiering, da det er en relativ ny proces. Men den tilgængelige viden viser, at

oligotrofiering er en kompliceret proces, hvis forløb afhænger af en lang række andre forhold end næringsstofkoncentrationer, herunder fx hvor meget havbundens struktur (fysiske stabilitet) har ændret sig i forbindelse med eutrofieringen. For en del af parametrene er der en tidsforsinkelse mellem den mindske tilførsel og responset, bl.a. fordi de strukturelle forhold har ændret sig. Desuden er det ikke sikkert, at tilstanden vender helt tilbage til tidligere tider, da systemet kan stabilisere sig i en ny tilstand.

Overfiskeri er en anden væsentlig presfaktor på marine økosystemer. Fisk og skaldyr fjernes fra økosystemer, hvilket fører til ændringer i produktion og energitransport mellem fødekæder, og fiskeri med bundtrawl medfører yderligere en fysisk forstyrrelse af havbunden. Fiskeri kan også påvirke systemers følsomhed over for andre presfaktorer som iltsvind, forurening og sygdomsudbrud.

Tilførsler af miljøfarlige stoffer har også indflydelse på økosystemets struktur og funktion. Nogle af disse stoffer påvirker følsomme organismers reproduktion, vækst og adfærd og dermed deres overlevelsessevne. I et antal kystnære områder og åbne farvande forekommer forhøjede niveauer af en række metaller og organiske forbindelser, som kan udgøre en potentiel risiko for økosystemet.

Klimaforandringer er endnu en faktor, som har indflydelse på økosystemerne. Klimaforandringer har en direkte effekt fx gennem stigende temperatur og øget vandstand, men kan også virke indirekte ved at gøre miljøet mere sårbart over for andre presfaktorer såsom iltsvind. Samspillet mellem de direkte og de indirekte effekter af klimaforandringer fører til forandringer, der bringer forstyrrelser i de naturlige forhold, som fx kan påvirke fødekæderne.

De mange forskellige faktorer påvirker hinanden, og de samlede (kumulative) effekter er svære at forudsige, lige som det er vanskeligt at adskille effekten af den ene påvirkning fra den anden. Det komplicerer fortolkningen af udviklingen i økosystemerne og gør det vanskeligere at forudsige responsen som følge af en øget såvel som af en reduceret påvirkning.

2 Klimatiske forhold

Jacob Carstensen

Miljøtilstanden i de marine områder er kraftigt påvirket af de klimatiske forhold. Temperaturen påvirker de biologiske processer foruden lagdeling af vandsøjlen og opløseligheden af ilt i vandet. Vinden påvirker både den vertikale opblanding af vand i overfladen og den horisontale advektive transport. Nedbør og afstrømning har betydning for den mængde næringsstoffer, som udvaskes fra landjorden. Der er store år til år variationer i de klimatiske forhold, som bidrager til at forklare udviklingen i den marine miljøtilstand.



Roskilde Fjord, ved Vigen.

Foto: Anne van Acker

Metoder og datagrundlag

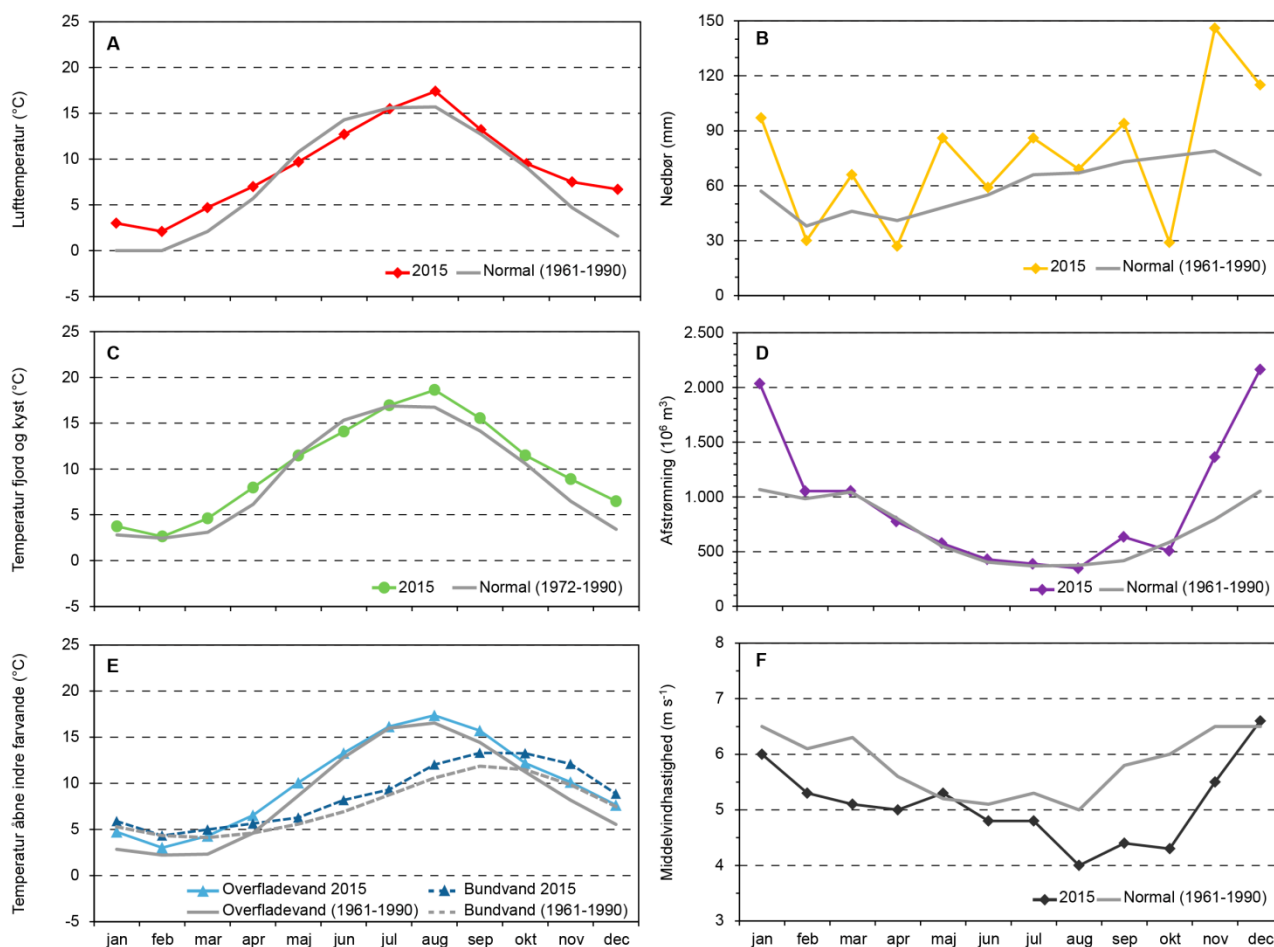
De klimatiske forhold i Danmark i 2015 beskrives med arealvægtede gennemsnit af temperatur, nedbør og vind for Jylland og øerne fra Danmarks Meteorologiske Instituts klimarapport for 2015 (*Cappelen 2016*), afstrømningsdata sammensat af opgørelser fra Hedeselskabet (1942-1989) og DCE (1990-2014), samt middel vandtemperaturer beregnet ud fra de nationale overvågningsdata. Disse værdier er sammenholdt med normalperioden 1961-1990 (anvist af World Meteorological Association). Derudover er der anvendt data for vind og global indstråling målt ved Sprogø (1977-1997) (Sund og Bælt Holding) og Risø (1995-2015) (Institut for Vindenergi, DTU), H.C. Ørsted Institutet i København (1993-2015) og Højbakkegård ved Høje Taastrup (1974-2000). De meteorologiske tidsserier er sat sammen ved interkalibrering af overlappende perioder. Temperaturen repræsenterer hele vandsøjlen for fjorde og kystnære områder, hvorimod den er opdelt i overflade (≤ 10 m) og bundvand (≥ 20 m) for de åbne farvande.

Sæsonvariation i 2015

Vinter (januar - februar)

De to vintermåneder var meget varme med en lufttemperatur 2-3 °C over normalperioden (*figur 2.1*). Vinteren 2015 var dermed temperaturmæssigt på niveau med de milde vintre i 2007, 2008 og 2014. Antallet af solskinstimer var normalt med lidt over middel i januar og lidt under middel i februar. Januar var alligevel meget våd med næsten dobbelt så meget nedbør som normalt (97 mm i 2015 mod 57 mm i normalperioden). Afstrømningen i januar var ligeledes dobbelt så stor som normalen grundet den megen regn. Derimod faldt der lidt mindre nedbør i februar end i normalperioden (30 mm mod 38 mm). For begge vintermåneder samlet faldt der 34 % mere regn end normalen. Middelvinden var lidt under normalen og kom hovedsageligt fra sydvest (*figur 2.1 & 2.2*). I den første halvdel af januar var der tre registrerede storme, hvoraf de to sidste (Dagmar og Egon) passerede landet inden for få dage.

I januar var temperaturen i overfladevandet 3,7 °C i fjorde og kystnære områder og 5,3 °C for de åbne indre farvande, hvilket er henholdsvis 0,9 og 1,9 °C varmere end normalen (figur 2.1). I februar faldt overfladevandets temperatur ned til normalniveauet (figur 2.2). Temperaturen i bundvandet i de åbne indre farvande var tæt på normalen for vinterperioden.

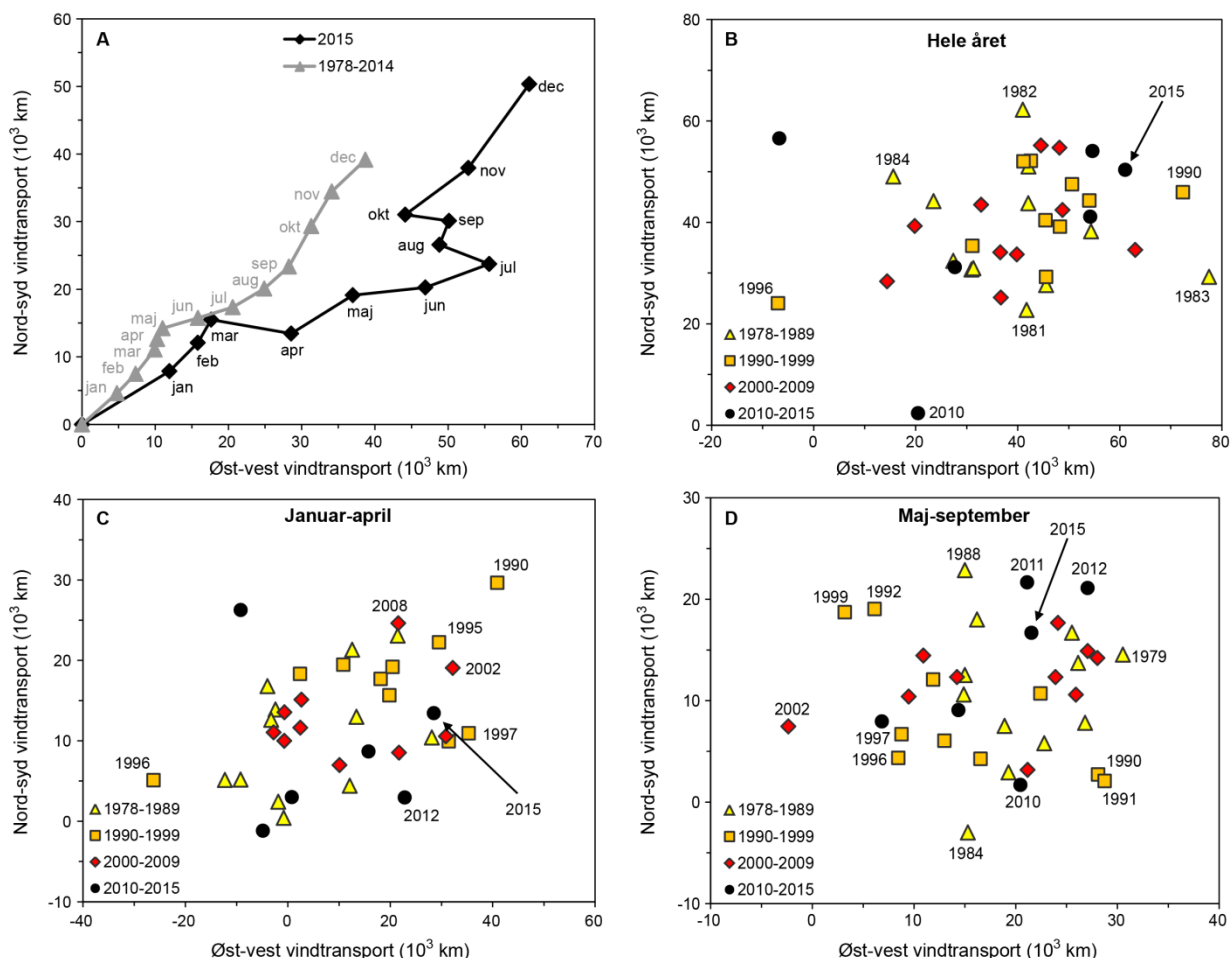


Figur 2.1. Årsvariation i 2015 sammenholdt med normalperioden (1961-1990) for A) lufttemperatur, B) nedbør, C) vandtemperatur for fjord- og kystnære stationer, D) afstrømning, E) vandtemperatur for overflade- og bundvand for stationer i de åbne indre farvande og F) middelvindhastighed. Datakilder: DMI (A, B og F); DCE og Naturstyrelsen (C-E).

Forår (marts - maj)

Luften var varm i marts måned med en temperatur 2,6 °C over normalen, mens temperaturen i april og maj var henholdsvis lidt over og lidt under normalen (figur 2.1). Faktisk var maj over 1 °C koldere end normalen, og antallet af solskinstimer var et af de laveste registreret siden 1874. Derimod var april mere solrig end normalen og marts på niveau med normalen. Som helhed var foråret derfor på niveau med perioden 1961-1990 for lufttemperatur og solindstråling. Nedbøren varierede mellem forårsmånederne med mere regn end normalt i marts og maj og mindre i april. Specielt maj var meget våd, og for foråret som helhed faldt der 33 % mere regn end normalt. Den større nedbør i forårsmånederne gav dog ikke anledning til en højere afstrømning. Vinden var forholdsvis svag i marts og april, mens maj var forholdsvis blæsende (figur 2.1). Vinden kom hovedsageligt fra vestlige og sydvestlige retninger (figur 2.2).

I fjorde og kystnære områder var overfladevandet lidt varmere end normalt i marts og april, men faldt til normalniveauet i maj. I de åbne indre farvande var overfladevandet 1,5-2 °C varmere end normalen i foråret. Temperaturen i bundvandet i de åbne indre farvande var ca. 0,9 °C varmere end normalen.



Figur 2.2. Retningsbestemt vindtransport beregnet som vektorsummen af øst-vest og nord-syd hastighedskomponenten. A) Årsvariation i 2015 måned for måned sammenholdt med tidligere år, B) årlig vindtransport, C) vindtransport fra januar til og med april og D) vindtransport fra maj til og med september. En stor vindtransport fra sydvest medfører generelt en større vandtransport gennem de indre danske farvande. Datakilder: Sund og Bælt Holding, DTU Vindenergi, H.C. Ørsted Institutet.

Sommer (juni - august)

Sommeren 2015 var indledningsvis meget kølig men sluttede med at være meget varm (figur 2.1). Lufttemperaturen i juni var 1,6 °C under normalen, juli var lige under normalen, og august var 1,7 °C over normalen. Som helhed var sommeren 2015 derfor på niveau med normalperioden. Antallet af solskinstimer i juni var normalt, hvorimod juli og august var lidt mere solrige end normalt. Der faldt mere nedbør i alle tre sommermåneder end normalt, hvor specielt juli var mere våd end normalen (86 mm mod 66 mm). Lige som for foråret medførte den øgede nedbør dog ikke en øget afstrømning. Juni og juli var forholdsvis blæsende, dog med middelvind under normalperioden, med vind fra vestlige retninger (figur 2.1 & 2.2). Vinden aftog i august og skiftede til mere østlige retninger.

Overfladevandstemperaturene i juni og juli var enten lavere eller kun svagt højere end normalen, hvilket er usædvanligt i betragtning af, at de generelt har været højere end normalen siden 1990 (figur 2.1). Overfladevandet blev

først rigtig varmt i august måned med temperaturer 1,9 og 0,8 °C over normalen. Den svagere vind fra østlige retninger i august måned har formentlig resulteret i en større udstrømning af Østersøvand, hvilket også kan ses af generelt lavere saltholdighed i overfladevandet i de åbne indre farvande (data ikke vist). Temperaturen i bundvandet var omkring 1 °C varmere end normalen.

Efterår (september - december)

De første to måneder i efteråret 2015 havde temperaturer på niveau med normalperioden, hvorimod de sidste to måneder var usædvanligt milde med temperaturer 2,8 og 5,1 °C over normalen (*figur 2.1*). September var lidt mere solrig end normalt, oktober og november på niveau med normalen, og december var mest af alt grå. Nedbøren i september var over middel (94 mm mod normalt 73 mm), hvorimod oktober var tør med kun 29 mm mod normalt 76 mm. Året sluttede med to meget våde måneder, hvor der faldt næsten dobbelt så meget regn som normalt. Samlet set faldt der 31 % mere regn i efteråret 2015 end i normalperioden. Den megen nedbør afspejlede sig i de månedlige afstrømninger, hvor specielt november og december havde meget høje værdier. Således var den samlede afstrømning i efteråret 64 % højere end normalen. Vinden var generelt svag i september og oktober, men tog til i årets sidste to måneder med kraftigere vinde fra sydvest (*figur 2.1 & 2.2*). I november var der to storme og én mere fulgte i december. De svagere vinde fra østlige retninger i september og især i oktober har sandsynligvis medført en udstrømning af Østersøvand gennem de åbne indre farvande.

De varmere lufttemperaturer, specielt i årets sidste måneder, medførte generelt højere temperaturer i overfladevandet, som i efteråret var 1,9 °C over normalen for fjorde og kystnære områder og 1,6 °C over normalen i de åbne indre farvande (*figur 2.1*). Temperaturen i bundvandet var tilsvarende forøget med 1,7 °C over normalen. Saltholdigheden i overfladevandet i de åbne indre farvande var høj i november og december som følge af de kraftigere vinde fra sydvest (data ikke vist).

Året som helhed

Året 2015 var meget varmere end normalperioden (7,7 °C) med en gennemsnitlig lufttemperatur på 9,1 °C, hvilket også er lidt varmere end for perioden 2001-2010 (8,8 °C), men dog noget under temperaturen i rekordvarme 2014 (10,0 °C). Det var specielt årets første og sidste måneder, som trak op i temperaturen, idet hverken foråret eller sommeren var speciel varm - august var dog rigtig sommervarm.

Antallet af solskinstimer var 11 % over normalperioden, men 4 % under perioden 2001-2010. April, august og september havde relativt flere solskinstimer i forhold til tidligere år, hvorimod februar, maj, november og december generelt var solfattige.

I 2015 faldt der 904 mm regn, hvilket er 27 % over normalen og 18 % højere end gennemsnittet for 2001-2010. Specielt januar, november og december var våde.

Som i de senere år var middelvinden generelt under normalen henover året, og kun maj og december var lidt mere blæsende end normalen. Det skal bemærkes, at middelvinden i normalperioden (1961-1990) var meget høj sammenlignet med niveauet de seneste mange år. I de fleste måneder i 2015 kom vinden fra sydvest, men der var også vind fra østlige retninger i august og

oktober. Seks registrerede storme passerede over landet, fordelt på tre i januar, to i november og en i december.

Havtemperaturen i overfladevandet i fjorde og kystnære områder såvel som i de åbne indre farvande var omkring 1-2 °C højere end normalen med undtagelse af maj, juni og juli. Bundvandstemperaturen var i begyndelsen af året kun svagt højere end normalen, men var omkring 1-2 °C højere end normalen i anden halvdel af 2015. Året var derfor noget koldere end rekordvarme 2014, men derimod gennemsnitlig for perioden efter 2000. Lavere saltholdighed i overfladevandet i august og oktober sammenholdt med dominerende vind fra øst tyder på udstrømmende Østersøvand i disse måneder.

Langtidsudvikling

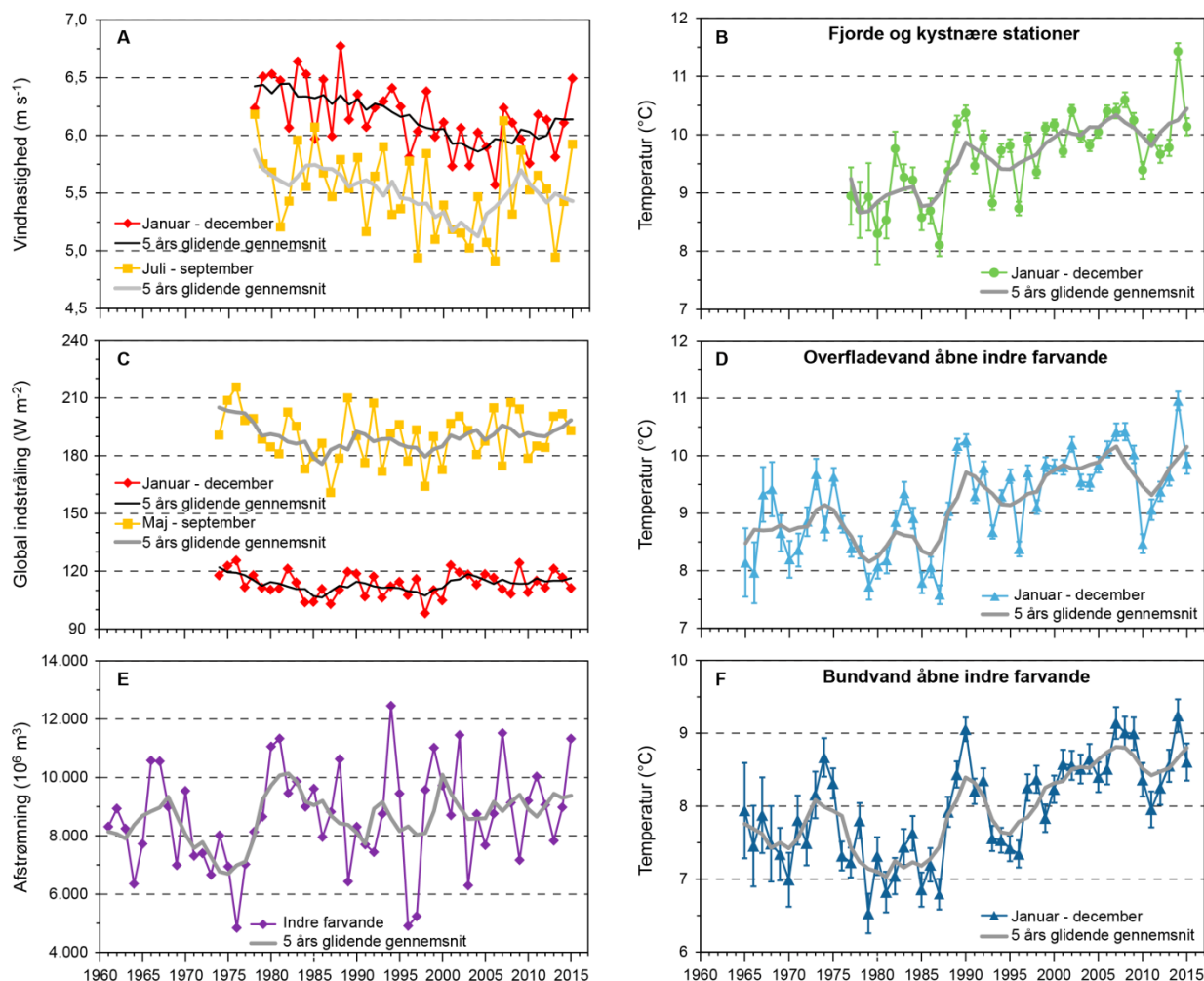
Den årlige middel vindhastighed er aftaget fra 6,4 m s⁻¹ i 1980'erne til omkring 6,0 m s⁻¹ siden 2000, dog med en stigende tendens i de seneste 10 år (*figur 2.3A*). Vindhastigheden i 2015 var blandt de højeste siden 1978, både for året som helhed og for de typiske iltsvindsmåneder juli-september. Der har været en tendens til, at vindhastigheder i juli-september var knap 1 m s⁻¹ lavere sammenlignet med året som helhed, men i perioden 2007-2012 blæste det næsten lige så meget i disse måneder som for året som helhed. I 2015 var vindhastigheden i juli-september 0,6 m s⁻¹ lavere end årsgennemsnittet.

Selvom vinden generelt har været svag siden 1995, og vindtransporten i 2015 var større end normalt, er der ingen indikationer på, at vindretningen generelt har ændret sig siden 1978 (*figur 2.2B-D*). Den dominerende vindretning er oftest fra sydvest, hvilket også gjorde sig gældende i 10 ud af 12 måneder i 2015 (*figur 2.2A*).

Vindtransporten i januar-april, som har betydning for transporterne af uorganiske næringsstoffer gennem de indre danske farvande, var gennemgående fra vest og sydvest i 2015 (*figur 2.2C*), hvilket formodentlig har givet en stor tilførsel af Nordsøvand ind i de åbne indre farvande. Den kraftigere vind i flere af årets måneder har formentlig også medført en større opblanding mellem overfladevand og bundvand i de åbne indre farvande.

Vindtransporten i maj-september, som er vigtig for transporten og opblandingen af bundvand i de åbne indre farvande, var forholdsvis stor for disse måneder som helhed (*figur 2.2D*). Men svagere vinde fra østlige retninger i august og oktober kan have reduceret transporten i bundvandet og opblandingen af vandsøjlen i disse måneder.

Indstrålingen i 2015 var gennemsnitlig, både for maj-september og for året som helhed (*figur 2.3C*). Specielt april og august havde relativ høj indstråling, mens indstrålingen var relativ lav i december. Indstrålingen på årsplan og i sommermånederne var høj i midten af 1970'erne i modsætning til de solfattige 1980'ere. Siden er indstrålingen steget igen, men har ikke helt nået niveauet fra 1970'erne.



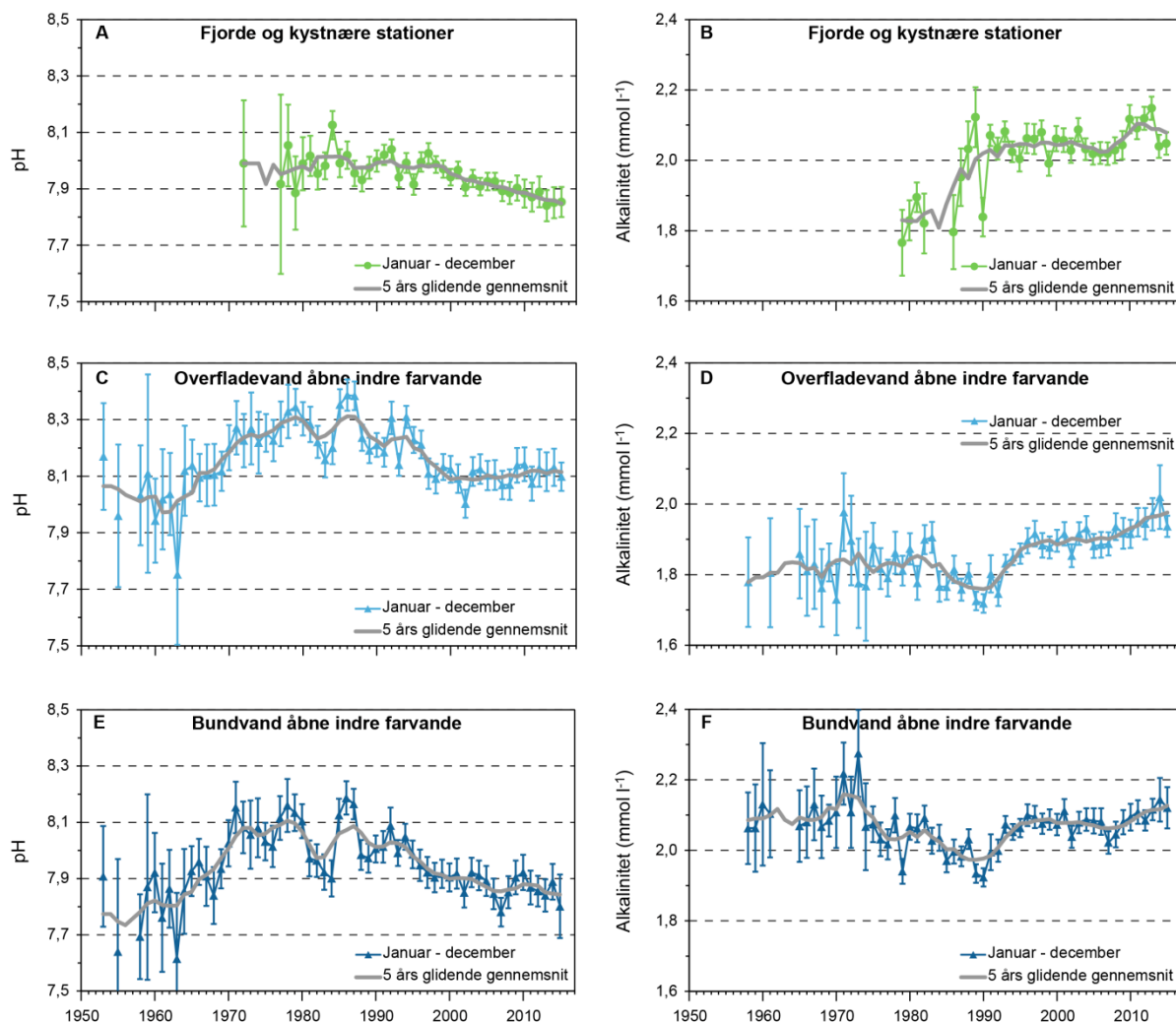
Figur 2.3. Tidlig udvikling for A) vindhastighed, B) vandtemperatur i fjorde og kystnære områder, C) global indstråling, D) overfladevandstemperatur i de åbne indre farvande, E) afstrømning og F) bundvandstemperatur i de åbne indre farvande. Datakilder: Sund og Bælt Holding, DTU Vindenergi, H.C. Ørsted Institutet, Landbohøjskolen (A og C); DCE og Naturstyrelsen (B, D, E og F). Middelterperaturer er angivet med 95 % konfidensgrænser.

Afstrømningen har også udvist forskellige mønstre i løbet af de sidste fem årtier (figur 2.3E). I 1960'erne var middelaflstrømningen 8.500 mio. m³ om året, som faldt til 7.500 mio. m³ i de relativt tørre 1970'ere, hvorefter niveauet steg til 9.400 mio. m³ i de våde 1980'ere. Siden 1990 har afstrømningen i middel været på niveau med normalperioden (1961-1990), om end det karakteristiske ved denne periode er de store variationer mellem årene, som var mest udpræget i 1990'erne. Afstrømningen i 2015 var den femte højeste siden 1961 og på niveau med 2002 og 2007.

Temperaturen i de danske farvande er steget med 1-1,5 °C i løbet af de sidste 30-40 år, og efter fire relativt kolde år (2010-2013) slog havtemperaturen alle tidligere rekorder i 2014 (figur 2.3B, D & F). Havtemperaturen i 2015 var gennemsnitlig for perioden efter 2000. Temperaturudviklingen i de forskellige danske farvande minder om hinanden, og temperaturstigningen foregår som gradvist stigende oscillationer.

Havvandets pH og alkalinitet har ændret sig en del i løbet af de seneste 50 år som følge af flere og modsatrettede processer (figur 2.4, se også Duarte m.fl. 2013). Den forøgede primærproduktion som følge af eutrofieringen har medført et større forbrug af CO₂ og en stigning i pH frem til 1980'erne. Efterfølgende er pH faldet ca. 0,1 i fjorde og kystnære områder og ca. 0,2 i de åbne in-

dre danske farvande, formentlig som en kombineret effekt af øget CO_2 i atmosfæren og faldende tilførsler af næringsstoffer fra land og atmosfæren, som har reduceret primærproduktionen. Faldet i pH er større end forventet fra den stigende mængde CO_2 i atmosfæren (0,002 om året; *Doney 2010*), hvilket kunne indikere en forskydning mellem produktion og respiration. Reduktioner i den atmosfæriske deposition af svovldioxid og faldende opløselighed af CO_2 i vand med stigende temperaturer burde medføre en stigning i pH, men er sandsynligvis af mindre betydning i forhold til de to førstnævnte processer.



Figur 2.4. Årsmiddel ($\pm 95\%$ konfidensgrænser) for pH og alkalinitet i fjorde og kystnære områder (A og B), overfladevand i de åbne indre danske farvande (C og D), og bundvand i de åbne indre farvande (E og F). Datakilder: DCE og Naturstyrelsen.

Faldende pH burde medføre et fald i alkaliniteten, medmindre der tilføres andre kemiske komponenter, som kan forskyde ligevægten inden for karbonsystemet. Alkaliniteten er overvejende steget i perioden med faldende pH (figur 2.4). Den stigende alkalinitet i overfladevandet for de åbne indre farvande er formentlig relateret til Østersøens opland, hvor det svenske landbrugsuniversitet (www.slu.se) har rapporteret om stigende alkalinitet i tilførslerne fra land (figur 2.4D). En del af stigningen i alkalinitet skyldes stigende fosfatkoncentrationer i Østersøen som følge af mere udbredt iltvind siden 1993 (*Carstensen m.fl. 2014a*).

Sammenfatning

- Året 2015 var varmere end normalperioden 1961-1990, men på niveau med gennemsnittet for årene efter 2000. Specielt vinter- og efterårsmånederne var milde, hvorimod maj, juni og juli var forholdsvis kolde sammenholdt med de senere år.
- Vindhastigheden i 2015 var under niveauet for normalperioden (1961-1990) igennem hele året med undtagelse af maj og december, men vinden var relativ kraftig sammenlignet med niveauet i perioden efter 1995. Vinden kom hovedsageligt fra sydvestlige retninger med undtagelse af august og oktober, hvor den slog om til mere østlige retninger, hvilket medførte større udstrømning af Østersøvand.
- Året 2015 var meget regnfuldt og specielt januar, november og december var våde. Antallet af solskinstimer var på niveau med de senere år.
- Vandtemperaturerne i 2015 var gennemsnitlige for perioden efter 2000, men varmere end gennemsnittet for normalperioden 1961-1990. I fjorde og kystnære områder og i overfladevandet i de åbne indre farvande var vandet henholdsvis 1,1 °C og 1,3 °C varmere end gennemsnittet for normalperioden. Bundvandet var 1,1 °C varmere end gennemsnittet for normalperioden.
- Havtemperaturen er generelt steget 1-1,5 °C i løbet af de sidste 30-40 år, men efter rekordvarme 2014 var temperaturen i 2015 mere normal sammenlignet med de senere år.
- Siden midten af 1980'erne er havvandet blevet mere surt (ca. 0,2 pH lavere i de åbne indre farvande og ca. 0,1 pH lavere i fjorde og kystnære områder).
- Alkaliniteten i overfladevandet i de åbne indre farvande har de seneste mange år været på et forhøjet niveau, hvilket sandsynligvis skyldes en øget eksport af alkalinitet fra Østersøens opland og øgede fosforkoncentrationer grundet mere udbredt iltsvind i Østersøen.

3 Næringsstofftilførsler fra land

Kapitlet er udeladt i år, da data ikke kunne nå at blive klar til rapporteringen. For informationer om tilførsler til de marine områder fra land henvises til rapporten *Vandløb 2015* (Hans Thodsen m.fl. 2016).

4 Kvælstoftilførsel fra luft

Kapitlet er udeladt i år, da data ikke kunne nå at blive klar til rapporteringen. For informationer om kvælstoftilførsler til de marine områder fra luft henvises til rapporten *Atmosfærisk deposition 2015* (Ellermann m.fl. 2016).

Del 2 – Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten

Jens Würgler Hansen

Det overordnede formål med den marine del af NOVANA-programmet er at understøtte internationale forpligtigelser og nationale behov for overvågningsdata om påvirkning, tilstand og udvikling i de danske farvande. Programmet skal således tilvejebringe det nødvendige dokumentations- og videngrundlag i relation til overvågningsbehov og -forpligtigelser i forvaltningen af havmiljøet.

Mange af de miljøindikatorer, som indgår i overvågningsprogrammet, påvirkes i større eller mindre grad af de klimatiske forhold som solindstråling, vind, temperatur og nedbør. Desuden er havets miljøindikatorer under indflydelse af menneskelige aktiviteter især i form af udledning af næringsstoffer og miljøfarlige stoffer samt erhvervsfiskeri.

Påvirkningerne er dynamiske og miljøindikatorerne responderer ved en variation hen over året og mellem år. Som udgangspunkt kan indikatorernes år til år variation opdeles i en naturlig og en menneskeskabt komponent. Miljø- og naturtilstanden er således underlagt en naturlig variation, som delvist kan skjule den påvirkning, som skyldes menneskelig aktivitet.

For at få et mere retvisende billede af effekterne af miljøforbedrende tiltag er det derfor ønskeligt at 'filtrere' den naturlige variation fra, så ændringer forårsaget af variationer i klimaet udviskes, mens ændringer forårsaget af menneskelige aktiviteter tydeliggøres. Dette er tilstræbt for en række indikatorer ved at korrigere for variationer i klimaet. Klimakorrekktionerne er kun sket i forhold til variationer i ferskvandsafstrømningen til de danske farvande. Klimakorrigerede værdier er således velegnede til at beskrive udviklingen i miljøpåvirkningen, men de fortæller ikke nødvendigvis noget om den aktuelle miljøtilstand, som er styret af de faktiske og ikke de klimakorrigerede forhold.

Analyserne af variation i data anvender et generelt indeks eller en middelværdi dannet ud fra alle målinger for de enkelte indikatorer for at give et nationalt billede af tilstand og udvikling. Derved udjævnes forskelle mellem lokaliteter, og analyserne fokuserer på ændringer fra år til år. Der er dog foretaget en opdeling på kystnære områder (inkl. fjorde) og havområder (åbne indre farvande), da disse to farvandstyper adskiller sig markant fra hinanden. For enkelte parametre er der lavet yderligere opdeling inden for farvandstyperne. Anvendelsen af et generelt indeks eller middelværdi betyder, at udviklingen lokalt i nogle tilfælde kan være forskellig fra den generelle nationale tendens.

Bilag 1 indeholder en kort beskrivelse af principperne for den anvendte indeksering og klimakorrektion.

Klimaforandringer påvirker tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten og komplicerer årsagssammenhænge. Ændringer i miljøtilstanden kan således både skyldes naturlig variation, menneskelig aktivitet og klimaforandringer, hvor sidstnævnte formodentlig især skyldes menneskeskabte forhold. De klimakorrigerede data er således normaliseret i forhold til år til år

variationen i klimatiske forhold, både hvad angår komponenten naturlig variation og komponenten klimaforandringer. En videreudvikling af klimakorrektionerne vil derfor kunne forbedre beskrivelsen af den ikke-klimarelaterede menneskeskabte miljøpåvirkning og dermed tydeliggøre effekten af de miljøforbedrende tiltag.

5 Næringsstofkoncentrationer

Jacob Carstensen

Eutrofiering skyldes hovedsageligt en stor tilførsel af næringsstoffer, som medfører en forøget produktion af bl.a. planteplankton i de danske farvande med deraf afledte effekter. Næringsstofkoncentrationer er derfor vigtige tilstandsvariable for at vurdere vandkvaliteten i de marine områder og indgår desuden til at understøtte klassifikationen af de biologiske elementer i de europæiske direktiver.

Totalkoncentrationerne af kvælstof (TN) og fosfor (TP) afhænger af tilførslerne fra land, atmosfære, sediment (intern belastning) og udveksling med andre farvande samt fjernelse ved permanent begravelse i sedimenterne og denitrifikation (kun kvælstof). Desuden vil optag i planteplankton i vandsøjlen samt mikroalger og planter på bunden binde vandsøjleens næringsstoffer, som for størstedelen dog frigives igen, når organismerne dør og mineraliseres. Den opløste, uorganiske del af kvælstof (DIN) og fosfor (DIP) optages direkte af havets planter, mens opløst organisk kvælstof og fosfor oftest skal omsættes bakterielt, før de kan optages af planterne. Ved planternes fotosyntese omdannes næringsstoffer og kulstof til partikulært organisk materiale. Uorganisk opløst silicium (DSi) er desuden et nødvendigt næringsstof for kiselalger. Planteplankton har gennemsnitlig behov for kvælstof og fosfor i mol-forholdet 16:1, også kaldet Redfield-forholdet. Lave værdier (< 10) indikerer, at kvælstof potentielt er begrænsende for primærproduktionen, og høje værdier (> 20) indikerer potentiel fosforbegrænsning.



Dorete W. Jensen klargør prøver til analyse af næringsstoffer. Foto: Anne van Acker.

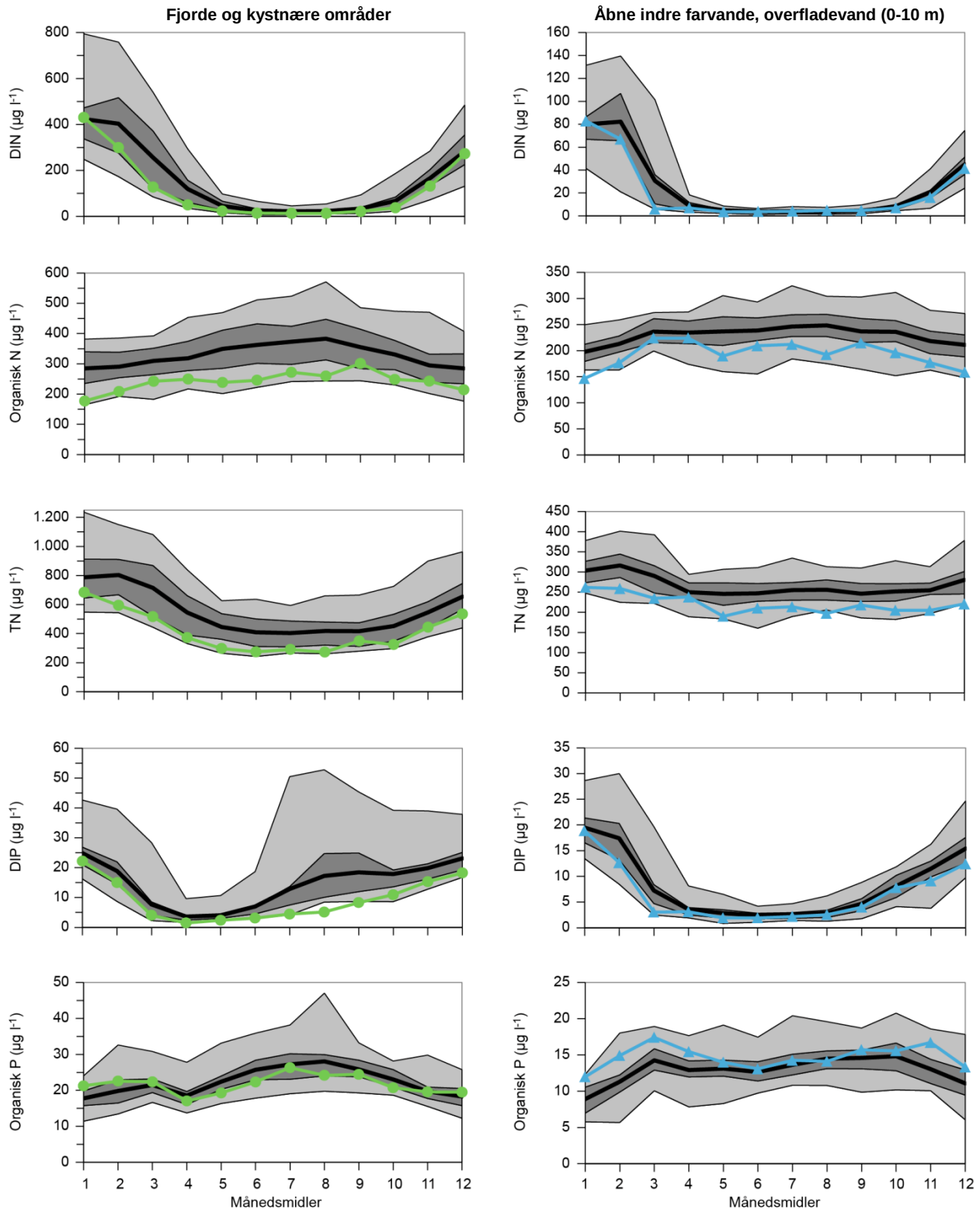
Metoder og datagrundlag

Kapitlet bygger på data fra det nationale program for overvågning af vandmiljøet og naturen (NOVANA) i perioden 1989-2015. Prøver er indsamlet og analyseret og data behandlet efter retningslinjerne i de tekniske anvisninger for overvågning af de vandkemiske parametre (*Fossing m.fl. 2015; Fossing & Hansen 2015*). Mængden af organisk N og P er ikke målt men beregnet som TN-DIN henholdsvis TP-DIP.

Stationerne er opdelt i fjorde og kystnære områder samt i de åbne farvande. Årsmidler af næringsstofkoncentrationer er beregnet med en tresidet variansanalyse (*Bilag 1*). Relationen imellem koncentrationerne og ferskvandsafstrømningen er anvendt til korrektioner for klimatiske variationer i analyser af den tidsmæssige udvikling i næringsstofkoncentrationerne (*Bilag 1*). Den tidlige udvikling er analyseret ved lineær regression for perioden 1989-2015 og for de seneste 10 år.

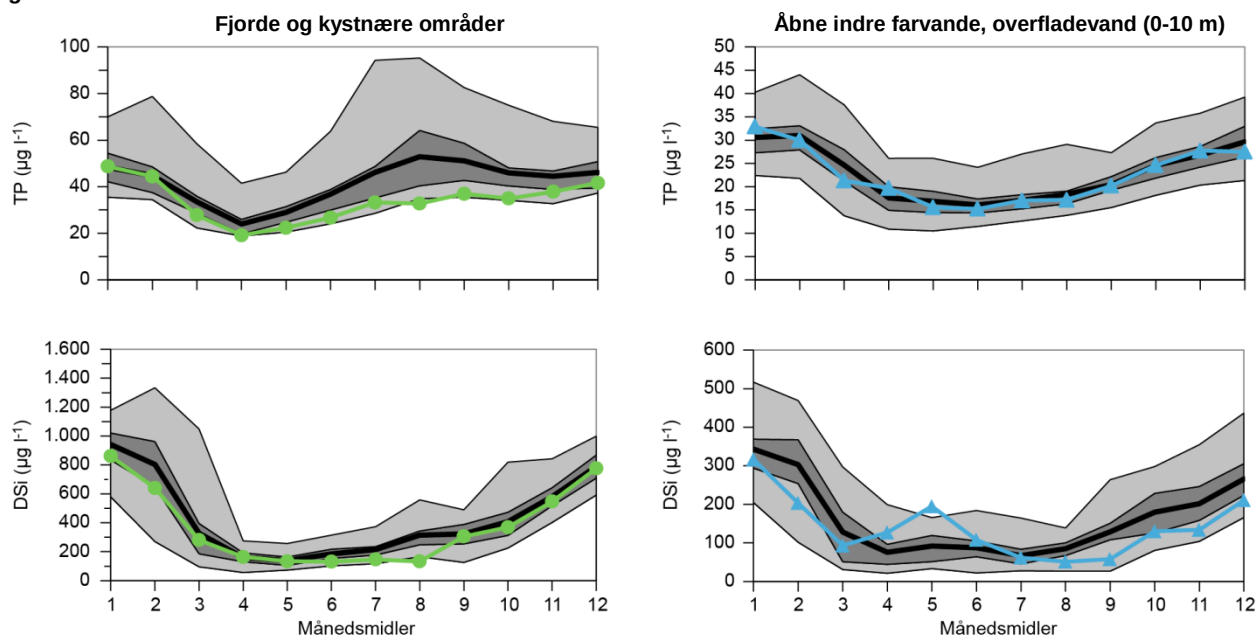
Sæsonvariation i 2015

Både kvælstof- og fosforkoncentrationerne har været faldende siden midten af 1990'erne, og niveauerne for 2015 var, som forventet, lavere end langtidsmidlerne (1989-2014). For at vurdere sæsonfordelingen i 2015 er månedsmidlerne for dette år sammenholdt med fordelingen af månedsmidler fra de tidligere år (figur 5.1).



Figur 5.1 fortsætter på næste side ►

Figur 5.1 fortsat



Figur 5.1. Månedsmiddelkoncentrationer af DIN, organisk N, TN, DIP, organisk P, TP og DSI i 2015 for fjorde og kystnære områder (0-10 m, ●) og overfladevandet i de åbne indre farvande (0-10 m, ▲) sammenholdt med langtidsmidlen (1989-2014). Variationen i langtidsmidlen er angivet med minimum og maksimum (lysegrå afgrænsning), nedre og øvre kvartil (mørkegrå afgrænsning) samt middelværdien (fed sort linje).

Kvælstofkoncentrationerne i fjorde og kystnære områder var generelt lave og med undtagelse af DIN i januar under langtidsmidlerne igennem hele året. DIN-koncentrationerne var forholdsvis høje i starten (januar-februar) og slutningen (november-december) af året, hvilket skyldes den større afstrømning fra land i disse måneder (*kapitel 2*). Det samme gjorde sig gældende for TN, selvom TN-koncentrationerne ikke helt nåede niveauet for langtidsmidlen. I modsætning til tidligere år blev der ikke registreret rekordlave månedsmidler for hverken DIN, organisk N eller TN.

DIN-koncentrationerne i overfladen i de åbne indre farvande var tilsvarende relativt høje i januar-februar og november-december, hvorimod TN-koncentrationerne generelt holdt sig på et relativt lavt niveau. De relativt høje DIN-koncentrationer skyldes den større afstrømning i starten og slutningen af året. DIN-niveauet faldt kraftigt i marts måned, hvilket kan kobles med den tidlige forårsopblomstring i de åbne indre farvande startende i februar (*kapitel 6*). Forårsopblomstringen medførte relativt høje koncentrationer af organisk N i marts og april samt TN i april (tæt på langtidsmidlen), inden koncentrationerne af organisk N og TN faldt til lavere niveauer, som har været karakteristisk for de senere år. Koncentrationen af organisk N i januar var den hidtil laveste, og tilsvarende var TN-koncentrationerne i august og december de hidtil laveste.

DIP-koncentrationer i fjorde og kystnære områder var på niveau med langtidsmidlerne i starten af året, men faldt til lave niveauer i løbet af foråret og sommeren. De generelt lave DIP-niveauer i løbet af den produktive periode skyldes formentlig større tilførsel af kvælstof fra land først på året, og dermed et relativt større optag af DIP i forbindelse med forårsopblomstringen (*kapitel 6*). DIP-koncentrationerne i april, august og september var således de hidtil laveste registrerede siden starten af den nationale overvågning i 1989.

Koncentrationerne af organisk P var på niveau med langtidsmidlerne igennem hele året, og TP-koncentrationen i august var den hidtil laveste. På trods af udbredt iltsvind i de sydøstjyske fjorde i 2015 (*kapitel 7*) var der ingen forøget opbygning af fosfor i vandsøjlen i sensommeren/efteråret, hvilket indikerer en begrænset fosforfrigivelse fra sedimentet formodentlig som følge af, at fosforpuljerne i sedimentet er mindsket i forhold til tidligere (*Riemann m.fl. 2016*).

TP-koncentrationerne i de åbne farvande i 2015 var overordnet på niveau med langtidsmidlerne, mens DIP-koncentrationer var lidt lavere, og koncentrationerne af organisk P var lidt højere. Denne forskydning mellem uorganisk og organisk P er formentlig koblet til den større kvælstoftilførsel fra land, hvilket har resulteret i et større optag af fosfat. Specielt var mængden af organisk P relativ høj i februar og marts måned, hvilket skyldes den tidlige forårsopblomstring i de åbne indre farvande (*kapitel 6*).

Koncentrationen af opløst silicium (DSi) i fjorde og kystnære områder var høj i årets første og sidste måneder, hvilket ligesom for DIN skyldes den større afstrømning i januar-februar og november-december. DSi-koncentrationen faldt markant i forbindelse med den kiselalgedominerede forårsopblomstring i marts (*kapitel 6*), hvorefter niveauet faldt yderligere frem til august, hvor det hidtil laveste DSi-niveau blev registreret. Dette lave niveau skyldes formentlig større opblomstringer af kiselalger i august (*kapitel 6*). Resten af året var DSi-koncentrationen på niveau med langtidsmidlen.

Sæsonmønstret i DSi-koncentrationen for de åbne indre farvande afveg derimod fra et gennemsnitsår med relativt høje koncentrationer i april, maj og juni, og DSi-koncentrationer under langtidsmidlen i de andre måneder. De høje DSi-koncentrationer i forårmånederne skyldes opblanding af bundvand med høje koncentrationer (se nedenfor) og et lavt optag af DSi, idet furealger dominerede algesammensætningen i disse måneder (*kapitel 6*).

I februar 2015 var der ingen klare signaturer af vand fra Den Jyske Kyststrøm på stationerne i det nordlige Kattegat, idet bundvandet havde en ikke forhøjet saltholdighed på 33-34 og normale koncentrationerne af uorganiske næringsstoffer. I marts måned blev der observeret lidt højere koncentrationer af næringsstoffer på dybder mellem 20 og 30 m med saltholdighed omkring 33 i Læsø Rende og ved Anholt. Dette kunne tyde på en vandmasse, som delvist stammer fra Den Jyske Kyststrøm. I april og maj blev signaturerne af denne vandmasse mere markant med stigende næringsstofkoncentrationer og kunne observeres i hele bundlaget i Øresund, ved Gniben og i det dybeste bundlag i Storebælt. De kraftige sydvestlige vinde i årets første tre måneder har formentlig betydet, at vandmasserne langs den jyske vestkyst hovedsageligt er fortsat langs den svenske og norske kyst og kun har påvirket bundvandet i de åbne indre farvande i mindre grad. Derimod kan den ændrede vindretning i april til dominerende nordvestenvind have medført en øget transport af denne vandmasse ind i de åbne indre farvande. Selvom koncentrationerne af næringsstoffer i denne vandmasse var lavere, end hvad der tidligere er observeret i vandmasser fra Den Jyske Kyststrøm, så er det muligt, at denne vandmasse kan have stimuleret den højere produktion i forårmånederne i de åbne indre farvande (*kapitel 6*). Nitratkoncentrationerne i Den Jyske Kyststrøm er dog meget lavere, end de var i 1980'erne og 1990'erne og kun svagt højere end nitratkoncentrationerne i vandmasserne, som kommer fra den centrale del af Nordsøen (omkring 150 µg l⁻¹).

Næringsstofkoncentrationerne i bundvandet i de åbne indre farvande var generelt på niveau med langtidsmidlerne bortset fra, at der var relativt høje koncentrationer af DIN og DSi i april-juni, og at koncentrationerne for alle næringsstoffer faldt i slutningen af året (resultater ikke vist). Som konsekvens heraf blev de hidtil laveste niveauer for DIP, TN og TP registreret for december, mens DIN-koncentrationen i maj og DSi-koncentrationen i april og maj var de hidtil højeste koncentrationer. Som beskrevet ovenfor skyldes dette formentlig en indstrømmende vandmasse, som var en blanding af næringsrigt vand fra Den Jyske Kyststrøm og vand fra den centrale Nordsø. De lavere koncentrationer af næringsstoffer i december og til dels november skyldes hovedsageligt den kraftige vind og de tre storme, som drev ind over landet (*kapitel 2*), hvilket har medført større nedblanding i bundvandet af overfladevand med lavere koncentrationer af næringsstoffer.

Kvælstof- og fosforkoncentrationerne i 2015 var som helhed lave i fjorde og kystnære områder, men sammenholdt med de senere år var DIN- og DIP-niveauerne lidt højere i årets første og sidste måneder grundet de store tilførsler fra land. Kvælstofkoncentrationerne i de åbne indre farvande var også generelt lave, hvorimod fosforkoncentrationerne var på niveau med de senere år. DSi-koncentrationen i maj var usædvanlig høj, hvilket skyldes opblanding af bundvand med forholdsvis høje DSi-koncentrationer kombineret med et mindre optag fra kiselalger. Bundvandet i de åbne indre farvande havde forholdsvis høje næringsstofkoncentrationer i april, maj og juni, hvilket skyldtes indstrømmende næringsrige vandmasser fra Nordsøen.

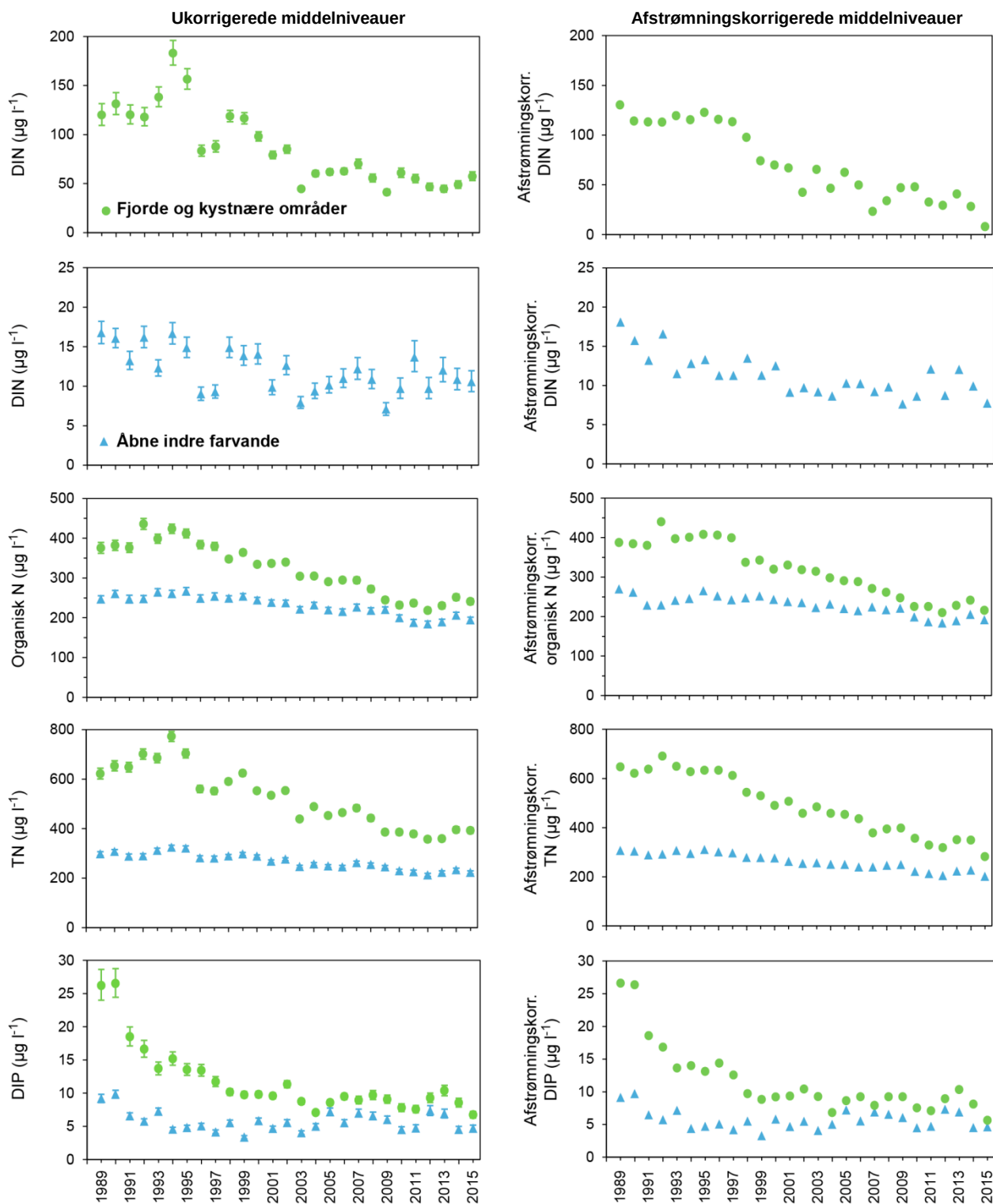
Tidlig udvikling i fjorde og andre kystnære områder

Kvælstofkoncentrationerne er generelt faldet siden midten af 1990'erne, hovedsageligt som følge af regulering af landbrugsproduktionen. I 2015 var årsmidlerne for DIN, organisk N og TN henholdsvis 57, 241 og 392 $\mu\text{g l}^{-1}$, hvilket er over gennemsnittet for de seneste seks år, men lavere end gennemsnittet for perioden siden 2000 (*figur 5.2*). TN-koncentrationen er faldet jævnt siden 1994 og er nået det halve af niveauet fra midten af 1990'erne. DIN-koncentrationen faldt ligeledes fra 1994 og frem til 2003, hvorefter niveauet har ligget rimelig konstant med en årsmiddel omkring 50 $\mu\text{g l}^{-1}$. Koncentrationerne af DIN, organisk N og TN i 2015 var reduceret med henholdsvis 58 %, 40 % og 42 % i forhold til middelniveauet for 1989-1994.

Korrigeres der for år til år variationerne i afstrømningen, var DIN- og TN-koncentrationen i 2015 de hidtil laveste, og organisk N havde det næstlaveste niveau (efter 2012). Sammenlignes de afstrømningskorrigerede kvælstofniveauer i 2015 med middelniveauet for 1989-1994, er der sket et fald på 93 %, 46 % og 56 % for henholdsvis DIN, organisk N og TN. De afstrømningskorrigerede kvælstofkoncentrationer udviser alle en fortsat faldende tendens.

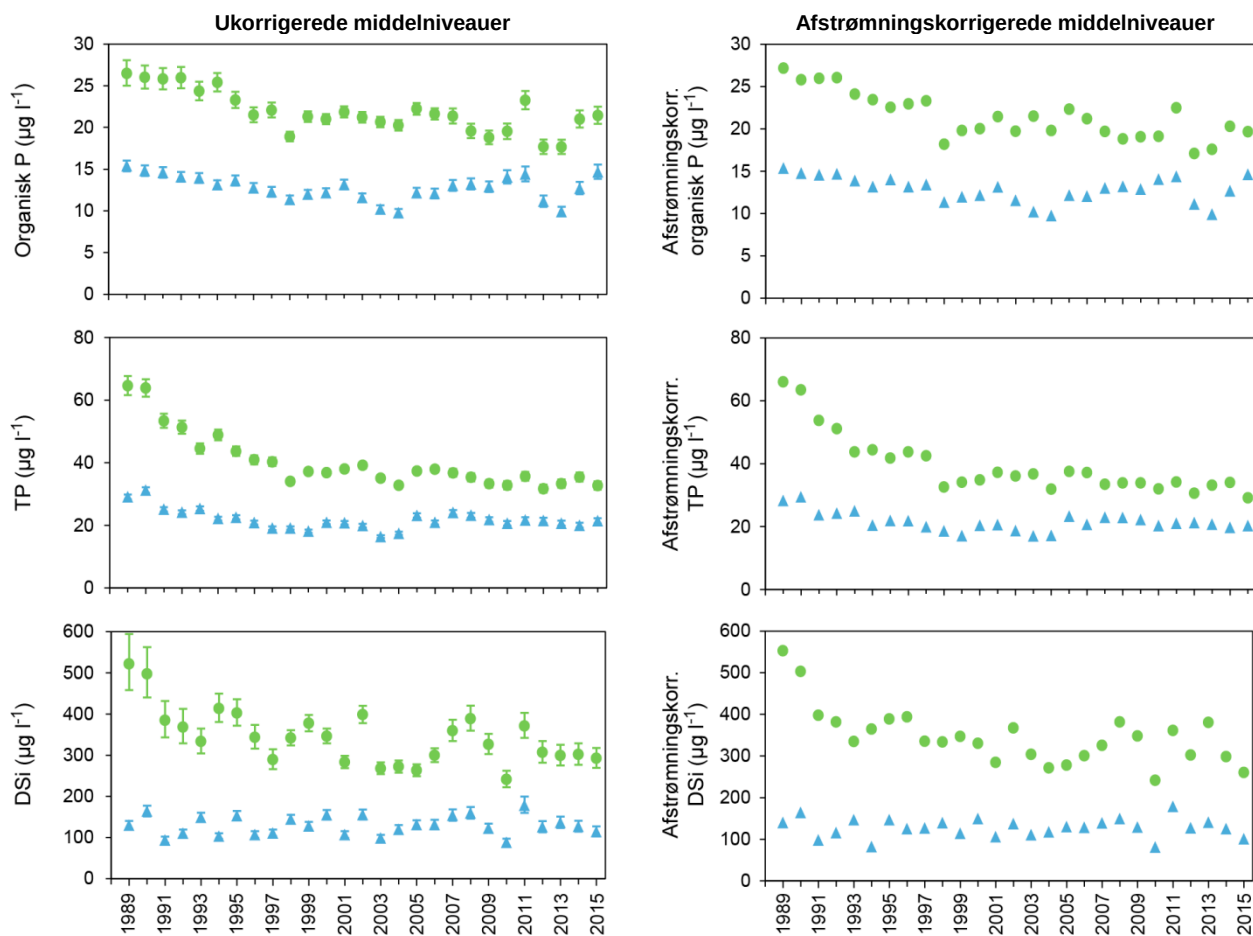
Fosforkoncentrationerne faldt markant i slutningen af 1980'erne og starten af 1990'erne som følge af udbygningen af spildevandsrensningen. Årsmidlen for DIP i 2015 var den hidtil laveste, hvilket formentlig skyldes et større optag af DIP i foråret og sommeren på grund af de relative høje DIN-koncentrationer samt formodentlig en mindre frigivelse fra sedimenterne i sensommeren og efteråret. Årsmidlen for TP var den næstlaveste (efter 2012), hvorimod årsmidlen for organisk P var på niveau med perioden siden 1998, hvor reduktionerne i punktkildetilførslen var fuldt implementerede. Den relative lave koncentration af DIP og relative høje koncentration af organisk P understøtter formodningen om et større optag af P i 2015 end normalt. Mid-

delniveauerne har siden 1998 ligget stabilt omkring 7-10 $\mu\text{g l}^{-1}$ for DIP, 17-22 $\mu\text{g l}^{-1}$ for organisk P og 32-38 $\mu\text{g l}^{-1}$ for TP. I forhold til 1989 var fosforkoncentrationerne i 2015 reduceret med 74 % for DIP, 19 % for organisk P og 49 % for TP. Afstrømningskorrektionen havde kun en mindre effekt på fosforniveauerne.



Figur 5.2 fortsætter på næste side ►

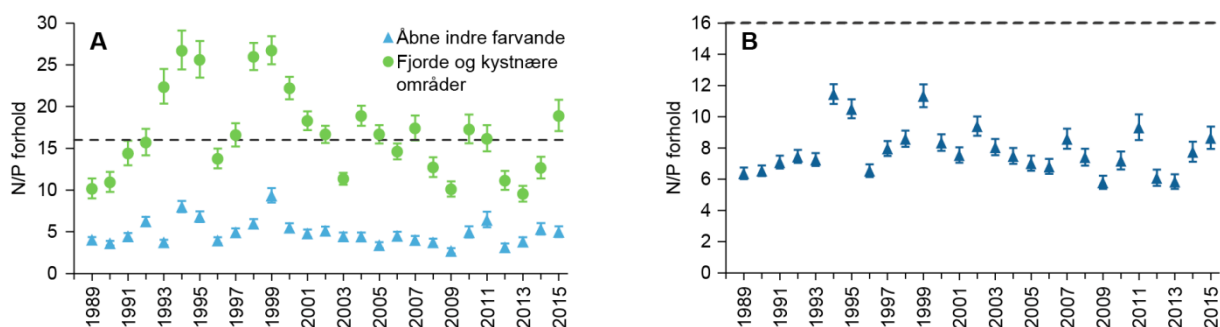
Figur 5.2 fortsat



Figur 5.2. Årsmiddelkoncentrationer ($\pm 95\%$ konfidensgrænser) af DIN, TN, DIP, TP og DSI i overfladevandet (0-10 m) uden (venstre kolonne) og med (højre kolonne) korrektion for variationer i afstrømning for fjorde og kystnære områder (●) og åbne indre danske farvande (▲). For DIN er fjorde og kystnære områder afbildet adskilt fra åbne farvande og med forskellige y-akser.

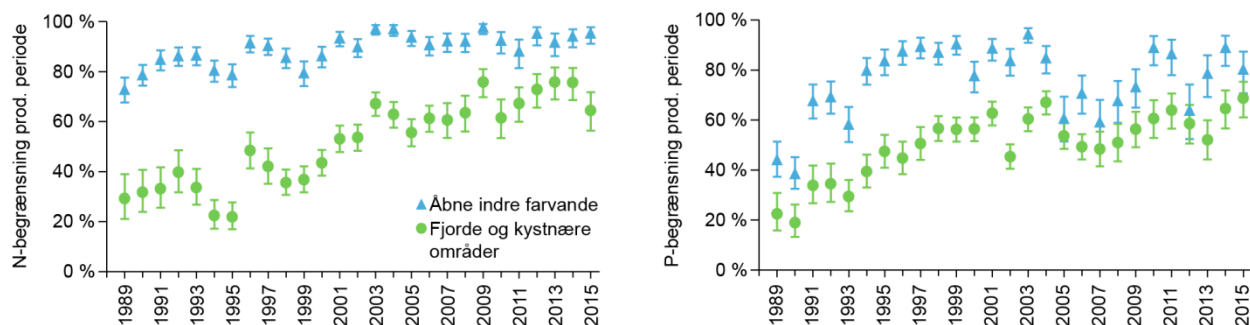
DSi-koncentrationen har varieret mellem 250 og 400 $\mu\text{g l}^{-1}$ siden starten af 1990'erne, og årsmidlen i 2015 var normal (292 $\mu\text{g l}^{-1}$). DSI-niveauet er normalt resultatet af tre faktorer: mængden af kiselalger, som sænker niveauet, graden af kvælstofbegrænsning, som begrænser væksten af kiselalger og dermed giver højere niveauer, og mængden af vand fra den centrale Nordsø, som sænker niveauet. Korrigeres der for afstrømning, var niveauet i 2015 det næstlaveste, hvilket kan skyldes et større optag fra kiselalger, specielt i august måned.

Molforholdet mellem årsmidler af DIN og DIP toppede i 1999 og har i de senere år stabiliseret sig lige under Redfield-forholdet 16:1 (figur 5.3A). Dette er en konsekvens af de to forskellige tidslige forløb: 1) DIP faldt frem til midten af 1990'erne og stabiliseredes derefter, og 2) DIN faldt fra midten af 1990'erne frem til ca. 2003 og stabiliseredes derefter. Molforholdet på 19 i 2015 var det højeste siden 2000 og skyldes den store afstrømning og kvælstoftilførsel i vintermånederne og sidst på efteråret.



Figur 5.3. Molforhold mellem årsmidlen ($\pm 95\%$ konfidensgrænser) for opløst uorganisk kvælstof (DIN) og opløst uorganisk fosfor (DIP) i A) overfladevand (0-10 m) for fjorde og kystnære områder (●) og åbne indre farvande (▲) og B) bundvand (≥ 15 m) i åbne indre farvande (▲). Den stiplede linje angiver Redfield-forholdet.

Kvælstof er blevet potentielt mere begrænsende siden midten af 1990'erne, mest markant i perioden fra 1998 til 2003, men den større tilførsel af kvælstof i 2015 resulterede i en forholdsvis lille potentiel kvælstofbegrænsning sammenlignet med de senere år (figur 5.4). I 2015 var kvælstof potentielt begrænsende i 64 % af den produktive periode, hvilket er mindre end de seneste fire år. Fosfor blev potentielt mere begrænsende fra 1989-1998, hvorefter fosfor har været potentielt begrænsende i ca. 50-65 % af den produktive periode. Fosforbegrænsningen i 2015 var den hidtil største med en potentiel fosforbegrænsning på 69 % af den produktive periode, hvilket skyldes det større optag af DIP.



Figur 5.4. Årsmiddel ($\pm 95\%$ konfidensgrænser) for potentiel begrænsning af kvælstof og fosfor i fjorde og kystnære områder (●) og åbne indre farvande (▲) udregnet som sandsynligheden for, at målinger i overfladevandet (0-10 m) i den mest produktive periode (marts-september) lå under værdierne for potentielt begrænset primærproduktion ($28 \mu\text{g l}^{-1}$ for DIN (til venstre) og $6,2 \mu\text{g l}^{-1}$ for DIP (til højre)).

Både de ukorrigerede og de afstrømningskorrigerede næringsstofkoncentrationer udviste alle signifikante fald i perioden 1989-2015 (tabel 5.1). Derimod er det kun organisk N, og TN, som har været signifikant faldende over de seneste 10 år. Perioden 2006-2015 viste også et svagt signifikant fald i TP for den afstrømningskorrigerede koncentration. Den potentielle næringsstofbegrænsning i perioden 1989-2015 var signifikant stigende for både kvælstof og fosfor (resultater ikke vist).

Tabel 5.1. Trendanalyser for udviklingen i næringsstoffer siden starten af det nationale overvågningsprogram i 1989 og for de seneste 10 år angivet ved hældningskoefficienten ($\text{mg l}^{-1} \text{år}^{-1}$) og tilhørende P-værdi (i parentes). Statistisk signifikante trends ($P < 0,05$) er markeret med gråtone. Bemærk at tabellen ud over trendanalyser for fjorde og kystnære områder også omfatter analyser for overfladevand og bundvand for de åbne indre farvande.

Område	Næringsstof	Ukorrigerede		Afstrømningskorrigerede	
		1989-2015	2006-2015	1989-2015	2006-2015
Fjorde og kystnære områder	DIN	-4,050 (<0,0001)	-1,458 (0,1999)	-4,471 (<0,0001)	-2,275 (0,114)
	Org. N	-7,859 (<0,0001)	-6,482 (0,0158)	-8,494 (<0,0001)	-6,888 (0,0038)
	TN	-14,087 (<0,0001)	-10,770 (0,0130)	-15,224 (<0,0001)	-12,582 (0,0015)
	DIP	-0,504 (<0,0001)	-0,144 (0,2572)	-0,526 (<0,0001)	-0,163 (0,2998)
	Org. P	-0,279 (<0,0001)	-0,081 (0,7132)	-0,270 (<0,0001)	-0,111 (0,557)
	TP	-0,915 (<0,0001)	-0,416 (0,0549)	-0,969 (<0,0001)	-0,477 (0,0367)
	DSi	-5,201 (0,0007)	-5,114 (0,3158)	-5,394 (0,0004)	-3,473 (0,5443)
Overfladevand, åbne indre farvande	DIN	-0,202 (0,0013)	0,079 (0,8929)	-0,248 (<0,0001)	0,004 (0,9831)
	Org. N	-2,861 (<0,0001)	-3,603 (0,0190)	-2,634 (<0,0001)	-3,626 (0,0187)
	TN	-3,720 (<0,0001)	-4,038 (0,0091)	-4,067 (<0,0001)	-4,227 (0,0114)
	DIP	-0,052 (0,1745)	-0,114 (0,3880)	-0,049 (0,1984)	-0,115 (0,3870)
	Org. P	-0,065 (0,0776)	0,002 (0,9913)	-2,132 (0,0430)	0,990 (0,9904)
	TP	-0,189 (0,0145)	-0,221 (0,1030)	-0,171 (0,0163)	-0,232 (0,0465)
	DSi	0,190 (0,7509)	-2,189 (0,4666)	-0,049 (0,9317)	-1,788 (0,5692)
Bundvand, åbne indre farvande	DIN	-0,484 (0,0342)	-0,593 (0,5540)	-0,462 (0,0004)	-0,705 (0,2384)
	TN	-4,319 (<0,0001)	-3,560 (0,0987)	-4,182 (<0,0001)	-3,829 (0,0266)
	DIP	-0,099 (0,1705)	-0,239 (0,1156)	-0,073 (0,2715)	-0,24 (0,1182)
	TP	-0,342 (0,0006)	-0,280 (0,2192)	-0,324 (0,0013)	-0,287 (0,1647)
	DSi	0,888 (0,2402)	-4,277 (0,1509)	0,379 (0,5185)	-3,436 (0,0793)

Tidslig udvikling i overfladevand i de åbne indre farvande

Kvælstofkoncentrationerne i overfladevandet i de åbne indre farvande i 2015 var på niveau med de senere år (*figur 5.2*). Generelt har DIN-niveauet ligget stabilt omkring $10 \mu\text{g l}^{-1}$ siden 2001, mens TN er aftaget jævnt fra $300 \mu\text{g l}^{-1}$ i 1989 til omkring $250 \mu\text{g l}^{-1}$ i 2003 og derefter til omkring $225 \mu\text{g l}^{-1}$ i de seneste fem år. Sammenholdt med perioden 1989-1994 var koncentrationerne af DIN, organisk N og TN i 2015 reduceret med 24-30 %.

De afstrømningskorrigerede kvælstofkoncentrationer i 2015 var derimod den hidtil laveste for TN, den næstlaveste for DIN og forholdsvis lav for organisk N. De afstrømningskorrigerede kvælstofniveauer har været faldende stort set siden 1989, dog med en tendens til stagnation for DIN siden 2000 og et fortsat svagt fald for organisk N og TN. Dette har for DIN og TN resulteret i et niveau på omkring henholdsvis $10 \mu\text{g l}^{-1}$ og $210 \mu\text{g l}^{-1}$ for et år med middel afstrømning.

DIP, organisk P og TP har stabiliseret sig omkring henholdsvis 6, 12 og $21 \mu\text{g l}^{-1}$, dog med en svagt stigende tendens efter 2000. Denne udvikling skyldes stigende fosorniveauer i Østersøen og stigende N-begrænsning i kystzonen, som har øget eksporten af fosfor fra kystzonen.

DSi-koncentrationerne har generelt ikke udviklet sig siden starten af vandmiljøplanernes overvågningsprogram i slutningen af 1980'erne, og normalt ligger årsmidlen mellem 100 og $150 \mu\text{g l}^{-1}$. DSi-niveauet i 2015 ($114 \mu\text{g l}^{-1}$) var gennemsnitlig for hele perioden siden 1989.

Udviklingen i forholdet mellem DIN og DIP i overfladevandet i de åbne farvande har været langt mindre systematisk end for fjorde og kystnære områder, dog kendetegnet ved høje værdier i afstrømningsrige år og tendens til

stabilisering på et niveau omkring 4 i overfladevandet (*figur 5.3A*). N/P-forholdet i 2015 var gennemsnitligt for perioden siden 1989.

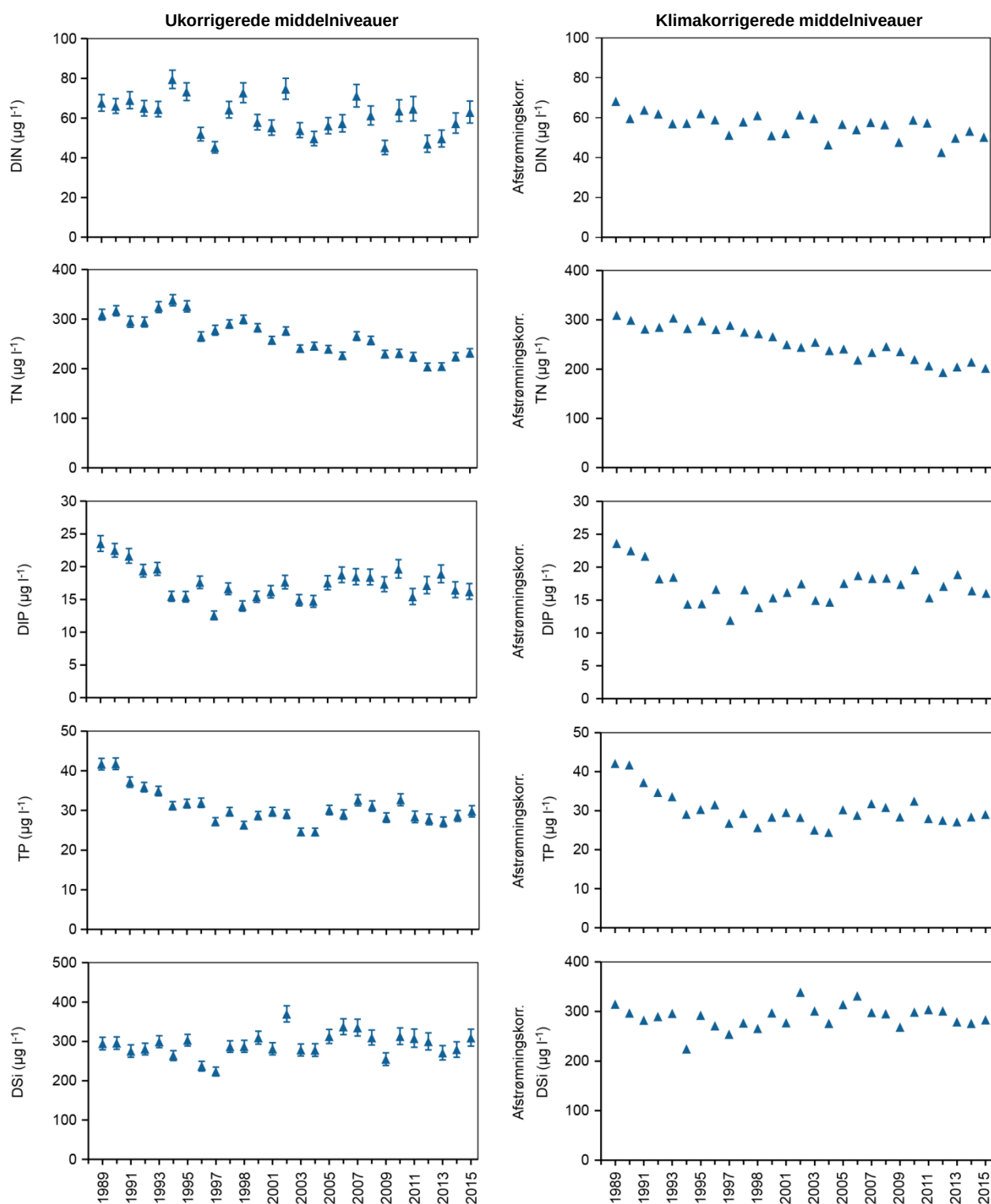
De faldende koncentrationer af næringsstoffer i vandet har resulteret i stigende potentiel næringsstofbegrænsning (*figur 5.4*). Væksten af planteplankton har siden 2001 så godt som hvert år været potentielt begrænset af kvælstof i mere end 90 % af den produktive periode. I 2015 var den potentielle kvælstofbegrænsning 96 % i den produktive periode. Den potentielle fosforbegrænsning i 2015 var sammenlignelig med niveauet de seneste 20 år svarende til en potentiel begrænsning af planteplanktonets vækst i 80 % af den produktive periode. Det betyder, at koncentrationerne af både DIN og DIP har været så lave i en stor del af den produktive periode, at begge næringsstoffer har været potentielt begrænsende samtidig.

Der er over hele perioden siden 1989 observeret signifikant faldende niveauer for DIN, organisk N, TN og TP (*tabel 5.1*). For de afstrømningskorrigerede koncentrationer var faldet signifikant for organisk N, TN og organisk P. Det skal dog bemærkes, at faldet kun var stærkt signifikant ($P < 0,01$) for organisk N og TN. For udviklingen i de seneste 10 år var der kun signifikante fald for organisk N, TN og TP, men ingen af disse tendenser var stærkt signifikante ($P < 0,01$). Selv om fosforkoncentrationerne faldt i starten af 1990'erne, så er der ingen udvikling for DIP set over hele perioden, lige som der heller ikke var nogen tendens for DSi. Den potentielle begrænsning af algevæksten var kun signifikant stigende for kvælstof for perioden 1989-2015 (resultater ikke vist).

Tidslig udvikling i bundvand i de åbne indre farvande

I 2015 var kvælstofkoncentrationerne i bundvandet i de åbne indre farvande lidt højere end de tre foregående år og på niveau med de seneste 10-15 år (*figur 5.5*). DIN-koncentrationen er faldet svagt siden 1989, om end mere markant for de afstrømningskorrigerede værdier, men er ikke ændret i de seneste 10 år, hvorimod TN-koncentrationen er faldet signifikant siden 1989 (*tabel 5.1*). Kun de afstrømningskorrigerede TN-koncentrationer er faldet signifikant i løbet af de sidste 10 år. TN-niveauet er faldet fra $> 300 \mu\text{g l}^{-1}$ i starten af overvågningsperioden til $232 \mu\text{g l}^{-1}$ i 2015. Efter et svagt fald i starten af overvågningsperioden har DIN-niveauet ligget mellem 50 og $75 \mu\text{g l}^{-1}$ siden 2000, og i 2015 var årsmidlen for DIN $63 \mu\text{g l}^{-1}$.

DIP-koncentrationen faldt frem til 1997 til et niveau omkring $13 \mu\text{g l}^{-1}$, hvorefter der har været en stigende tendens til omkring $17 \mu\text{g l}^{-1}$ (*figur 5.5*). I 2015 var DIP på niveau med de senere år. Det skyldes formodentlig, at årets iltsvind kun førte til en begrænset frigivelse af fosfor fra havbunden. De relativt høje koncentrationer de seneste 10 år skyldes en stabil til stigende tilførsel fra land, fosforfrigivelse i tilknytning til iltsvind, øgede DIP-koncentrationer i Østersøen og for nogle års vedkommende en stor forårsopblomstring med efterfølgende sedimentation og remineralisering. TP-koncentrationen i 2015 var på niveau med de seneste godt 15 år, og der har ikke været nogen udvikling siden 1997, efter at TP-niveauet faldt ca. 35 % fra 1989 til 1997. Over hele perioden siden 1989 har der været et signifikant fald i TP, men ikke i DIP (*tabel 5.1*). Der har ikke været nogen signifikant udvikling de seneste 10 år for hverken DIP eller TP.



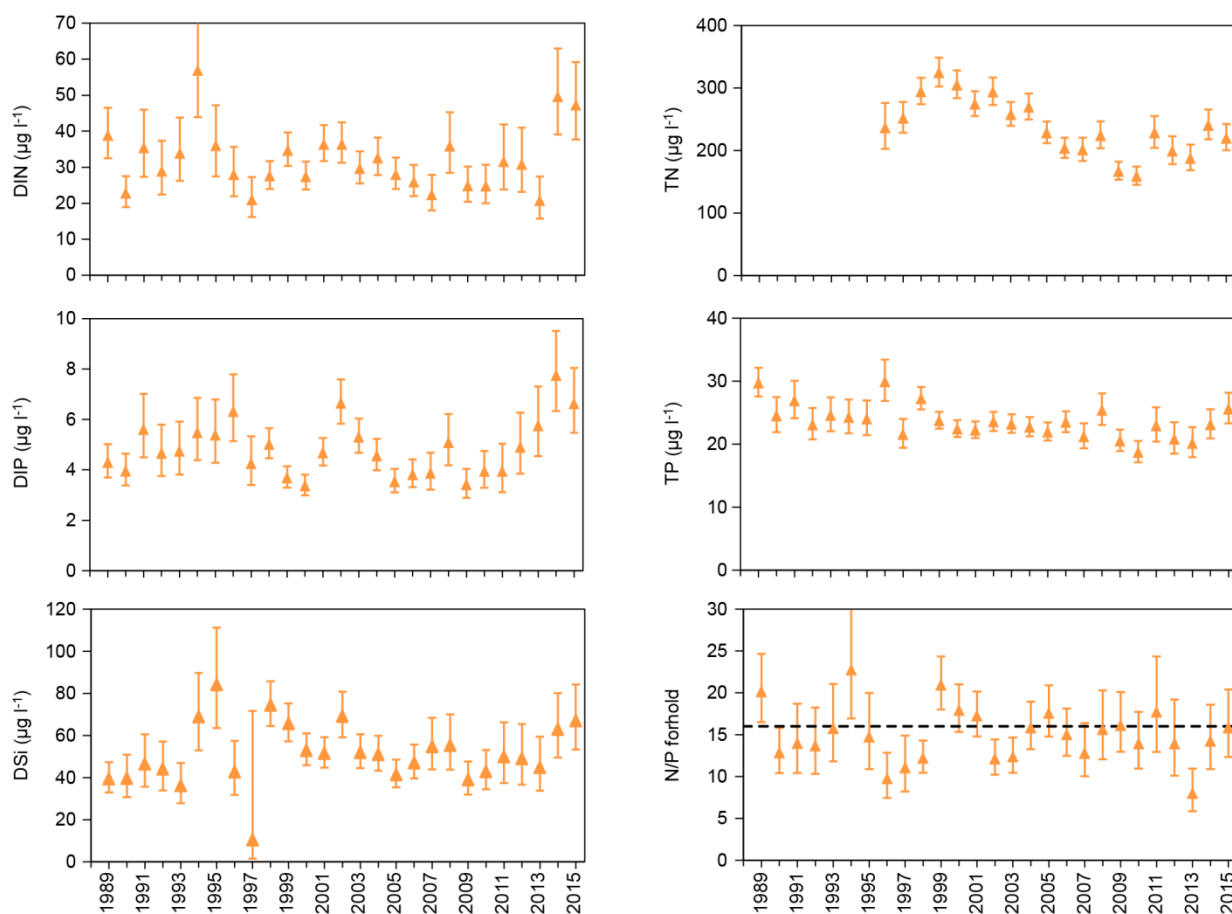
Figur 5.5. Årsmiddelkoncentration ($\pm 95\%$ konfidensgrænser) af DIN, TN, DIP, TP og DSI i bundvandet (≥ 15 m) for de åbne indre farvande (venstre kolonne) og tilsvarende koncentrationer korrigeret for variationer i afstrømning (højre kolonne).

Der har ikke været nogen generel tendens for DSI for perioden som helhed (figur 5.5). Niveauet i 2015 ($309 \mu\text{g l}^{-1}$) var lidt over gennemsnittet for både hele perioden ($292 \mu\text{g l}^{-1}$) og de seneste 10 år ($301 \mu\text{g l}^{-1}$). De afstrømningskorrigerede koncentrationer viser et fald i starten af perioden frem til midten af 1990'erne, efterfulgt af en stigning og siden 2002 et nogenlunde konstant niveau.

Forholdet mellem DIN og DIP har været stigende frem til 1999 og derefter faldende til et niveau omkring 7 i de seneste 10 år (*figur 5.3B*). I 2015 var forholdet lidt højere end normalt (8,6), hvilket til dels skyldes påvirkningen af vandmasser fra Den Jyske Kyststrøm i forårsmånederne, som er kendetegnet ved høje koncentrationer af især DIN.

Tidlig udvikling i overfladevand i Nordsøen og Skagerrak

Næringsstofkoncentrationer i Nordsøen og Skagerrak er analyseret på basis af NOVANA-stationer langs vestkysten (ud for Vadehavet, Årgab, Thyborøn, Hanstholm og Hirtshals) samt stationerne i den åbne del af Nordsøen. Fra 2007 til 2013 blev der ikke målt i den åbne del af Nordsøen. Tidstrends for disse data er analyseret på samme vis som for de åbne indre farvande, hvilket betyder, at årsmidlerne for 2007-2013 udelukkende er bestemt ud fra kystnære stationer under den antagelse, at disse stationer, når der korrigeres for rumlige forskelle, afspejler den generelle tidslige variation for hele Nordsøen og Skagerrak. Dog er der ikke foretaget nogen klimakorrektion, da der ikke er tilvejebragt data for ferskvandsafstrømningen til Den Tyske Bugt. Der er kun få målinger af TN fra før 1996, og disse data er derfor udeladt.



Figur 5.6. Årsmiddelkoncentration ($\pm 95\%$ konfidensgrænser) af DIN, TN, DIP, TP og DSi i overfladevandet (0-10 m) for Nordsøen og Skagerrak samt DIN/DIP molforholdet. Årsmidlerne for 2007-2013 er udelukkende baseret på målinger fra kystnære stationer. Den stiplede linje angiver Redfield-forholdet.

Årsmidlerne for DIN var nogenlunde konstante over perioden, dog med en tendens til lidt lavere koncentrationer for 2003-2013, hvorimod DIN-niveauet var ganske højt i 2014 og 2015. TN-niveauet toppede omkring $300 \mu\text{g l}^{-1}$ i 1999 og har siden været faldende til omkring $200 \mu\text{g l}^{-1}$, dog med et lidt højere niveau i 2014 og 2015.

Årsmidlerne for DIP har ligeledes ligget på et konstant niveau ($4-6 \mu\text{g l}^{-1}$) siden 1989 med undtagelse af i 2014 og 2015, hvor DIP-koncentrationerne har været relativt høje. Derimod er TP-koncentrationerne faldet jævnt igennem perioden fra omkring $26 \mu\text{g l}^{-1}$ til $23 \mu\text{g l}^{-1}$.

Årsmidlerne for DSi er derimod steget i starten af perioden og derefter holdt sig på et nogenlunde konstant niveau, som i 2015 var $67 \mu\text{g l}^{-1}$. De forholdsvis høje næringsstofkoncentrationer i de seneste to år skyldes formentlig en kraftigere transport nordpå af vand fra Den Tyske Bugt med Den Jyske Kyststrøm som følge af de dominerende vindretninger fra sydvest. Molforholdet mellem DIN og DIP har igennem perioden ligget konstant omkring Redfield's forhold.

Sammenfatning

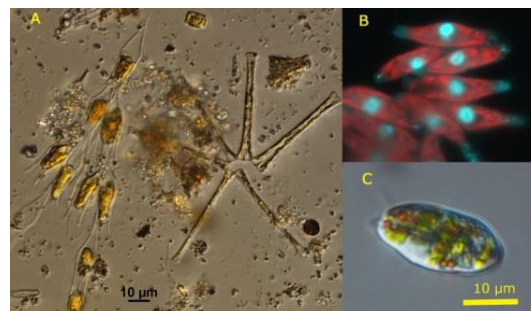
- Kvælstofkoncentrationerne i 2015 var generelt lave for fjorde, kyster og åbne indre farvande, med undtagelse af januar-februar og november-december, hvor stor afstrømning fra land gav højere koncentrationer.
- Fosforkoncentrationerne i 2015 var på niveau med de senere år, dog med lave fosfatkoncentrationer i foråret som følge af et større optag grundet de højere vinterkvælstofniveauer. Tilsvarende var mængden af organisk P højere i foråret.
- På trods af udbredt iltsvind i fjorde og kystnære områder i 2015, blev der ikke observeret større koncentrationer af fosfat i sensommeren, hvilket indikerer, at fosforpuljerne i sedimentet er reduceret.
- Den potentielle kvælstofbegrænsning i fjorde og kystnære områder var i 2015 mindre end de senere år, hvilket skyldes den større afstrømning i vintermånederne. I de åbne indre farvande var den potentielle kvælstofbegrænsning derimod lige så stor som i de seneste ca. 15 år.
- Den potentielle fosforbegrænsning var stor i fjorde og kystnære områder som følge af det større optag af fosfat i forårmånederne. I de åbne indre farvande var den potentielle fosforbegrænsning på niveau med de senere år.
- En vandmasse med forholdsvis høje koncentrationer af opløste uorganiske næringsstoffer trængte ind i bundlaget i de åbne indre farvande i april og maj. Denne vandmasse var en blanding af Den Jyske Kyststrøm og vand fra den centrale del af Nordsøen.
- Opblanding af denne vandmasse i overfladelaget i de åbne indre farvande resulterede i usædvanligt høje siliciumkoncentrationer i maj måned. I fjorde og kystnære områder faldt siliciumkoncentrationen derimod i august måned som følge af kiselalgeopblomstringer.
- Generelt er udviklingen i koncentrationen af opløst uorganisk kvælstof i overfladevandet stagneret, hvorimod de organiske kvælstofkoncentrationer fortsat falder. Korrigeres der for afstrømningen var kvælstofkoncentrationerne i 2015 meget lave.
- Fosforkoncentrationerne faldt kraftigt i 1990'erne, men der er ikke sket yderligere fald siden 1998. I de åbne indre farvande er der faktisk en mindre stigning i fosforkoncentrationer i de seneste 10-15 år, hvilket formentlig skyldes stigende koncentrationer i Østersøen.

- De aftagende næringsstofkoncentrationer tilskrives i stor udstrækning spildevandsrensning af fosfor og en reduktion i tabet af kvælstof fra landbrugsproduktionen. Der er altså en tydelig positiv effekt af den danske indsats for at reducere tilførsler af næringsstoffer til vandmiljøet.
- I den danske del af Nordsøen og Skagerrak er de totale koncentrationer af kvælstof og fosfor faldet henholdsvis siden 1996 og 1989, men i 2014 og 2015 har næringsstofkoncentrationerne dog været relativt høje.

6 Planteplankton, dyreplankton og vandets klarhed

Hans H. Jakobsen, Stiig Markager & Jacob Carstensen

Planteplankton er det første led i den pelagiske fødekæde og består af mikroskopiske fritsvævende alger. De fleste af dem fungerer som 'planter', idet de indeholder kloroplaster (grøn-korn) og alene benytter solens lysenergi samt næringsstoffer i vandet til deres vækst. Noget af planteplanktonet ernærer sig desuden delvist som 'dyr' ved at æde andre organismer samtidig med, at de bibeholder mere eller mindre funktionelle kloroplaste. De fungerer således både som plante og dyr. Planteplankton har korte generationstider, ofte kun en til to dage. Derfor reagerer planteplankton meget hurtigt på ændringer i forhold, der påvirker deres vækst, fx tilførsler af næringsstoffer og lysindstråling.



(A) En fikseret prøve, der viser diversiteten af planteplankton i en feltprøve: fx den mixotrofe kolonidannende gulalge *Dinobryon* sp. i en træliggende struktur. (B) Flagellaten *Eutriptaella* sp. belyst med monokromatisk lys i et epifluorescens mikroskop, hvor kloroplastenes klorofyl er farvet rødt, og cellekernemateriale er farvet lyseblåt. (C) Levende *Eutriptaella* sp. i en ufikseret prøve.

Foto: Hans H. Jakobsen.

Væksten af planteplankton (primærproduktionen), mængden af planteplankton (klorofyl *a* og kulstofbiomasse) og vandets klarhed (sigtdybde) benyttes, sammen med koncentrationerne af næringsstoffer (se kapitel 5), til at beskrive miljøtilstanden i de frie vandmasser. Disse parametre er kun svagt forbundet indbyrdes. Planteplanktons vækst er den mest følsomme af parametrene i forhold til ændringer i tilførsler af næringsstoffer og lys. Mængden af planteplankton påvirkes positivt af tilførslerne af næringsstoffer, men der er dog langt fra altid en stærk sammenhæng mellem næringsstoffer og mængden af planteplankton i de frie vandmasser. Dette skyldes, at en betydelig del af planteplanktonet fjernes fra vandsøjlen af græssende dyreplankton eller sedimenterer ned på havbunden. Generelt øges mængden af dyreplankton også ved højere tilførsler af næringsstoffer, således at græsningstrykket stiger. Koncentrationen af alger er bestemt af forskellen mellem algevækst og græsning og er derfor mindre påvirket af ændringer i tilførsler af næringsstoffer end væksten. En fordel ved at anvende mængden af planteplankton (målt som klorofyl *a*) som miljøparameter er, at denne parameter er nemmere at måle end væksten og derfor kan måles oftere og på flere stationer. Imidlertid varierer forholdet mellem klorofyl og planteplanktons kulstofbiomasse mere end 30 gange afhængig af art, lysforhold og tilgængelighed af næringsstoffer (Jakobsen & Markager 2016). Det er derfor nødvendigt at vurdere planteplanktonets kulstofbiomasse uafhængigt af klorofyl ud fra tællinger i mikroskop. Tællinger i mikroskop giver endvidere mulighed for at undersøge algesamfundets artssammensætning og dermed vurdere effekterne af næringsstoffer på planteplanktonsamfundet, herunder eventuelle forekomster af giftige alger. Vandets klarhed er kun svagt forbundet med mængden af planteplankton i vandet og afspejler primært den samlede

mængde af organisk stof (dødt og levende) i vandet. Det skyldes især, at dødt organisk stof (detritus) spreder lyset, hvilket forøger lysets vej ned gennem vandet, og dermed forøger lysabsorptionen. Vandets klarhed påvirker forhold som dybdeudbredelsen af bundplanter, vækst og udbredelse af fisk samt placeringen af planteplanktons vækst i vandsøjlen, som har betydning for iltsvind (*Lyngsgaard m.fl. 2014*).

Planteplankton er en kilde til ilt i havet, da der dannes ilt i forbindelse med algernes vækst. Når iltproduktionen sker i bundvandet, mindsker det risikoen for iltsvind og de efterfølgende negative konsekvenser for livet ved havbunden. Men planteplankton er også en kilde til iltforbrug i bundvandet, især når dødt planteplankton sedimenterer ned fra overfladevandet og omsættes af bakterier under forbrug af ilt.

Planteplankton opdeles i forskellige grupper. Kiselalger og furealger (dino-flagellater) er de dominerende algegrupper i de fleste danske fjorde og i de åbne farvande. Sedimentation af furealger og især kiselalger fra overfladevandet forsyner bundlevende dyr med betydelige mængder af føde i form af organisk materiale og er dermed bl.a. grundlaget for kommercielt vigtige arter som fladfisk og jomfruhummer. Nogle arter af planteplankton producerer giftstoffer, der kan akkumuleres i skaldyr og derigennem potentielt forgifte bl.a. mennesker.

I fjorde og lavvandede kystnære områder filtrerer bundlevende organismer som fx blåmuslinger en betydelig del af planteplanktonet. I de åbne farvande, hvor vandsøjlen oftest er lagdelt, og i kystnære områder i perioder med lagdeling er dyreplankton de vigtigste græssere. Dyreplankton består af både encellede og flercellede dyr. Vandlopper vil ofte dominere det flercellede dyreplankton, men specielt i kystnære områder kan dafnier og larver af bunddyr i perioder være vigtige. I de indre danske farvande er vinterbestanden af vandlopper lille. Mange arter af vandloppe overvintrer som hvileæg i havbunden, hvor de afventer foråret. Når forårsopblomstringen af planteplankton starter, er temperaturen i havet stadig lav, og udviklingen af vandloppebestanden går derfor langsomt. Det betyder, at vandlopperne kun er i stand til at æde en mindre del af forårsopblomstringen, hvorfor en stor del vil synke til bunden. Det encellede dyreplankton er bedre i stand til at følge forårsopblomstringen af planteplankton og er samtidig ikke udsat for så kraftig prædation fra vandlopper så tidligt på sæsonen. De vil derfor ofte udgøre den dominerende del af dyreplanktonets biomasse i denne periode. Om sommeren, når vandloppebestanden når sit maksimum, og biomassen af planteplankton derfor er relativ lav, vil vandloppernes græsning på de encellede dyreplankton være betydelig. Dyreplankton kobler primærproducenterne med dyr højere i fødekæden og spiller en vigtig rolle i økosystemet. I de frie vandmasser bliver dyreplankton spist af fx fiskelarver, sild, brisling og vandmænd, mens dyreplankton i lavvandede områder i højere grad reguleres af bundlevende dyr. Udviklingen i bestanden af dyreplankton er således på samme tid bestemt af faktorer, der styrer deres vækst, primært temperatur og fødekonzentration samt tab som følge af prædation fra større dyr. Algevæksten og dyreplanktons græsning af planteplankton er centrale processer i det pelagiske økosystem og udgør grundlaget for højere led i fødekæden som fisk, havpattedyr og fugle.

Metoder og datagrundlag

Analyserne bygger på data fra det nationale program for overvågning af vandmiljøet og naturen i perioden 1975-2015 (fra 1989/2004 betegnet NO-VA/NOVANA). Data er indsamlet efter retningslinjerne i de tekniske anvisninger for NOVANA for overvågning af plankton (Kaas & Markager 1998; Jakobsen & Fossing 2015; Markager & Fossing 2015).

Data fra den fælles overfladevandsdatabase, ODA, og svenske data fra SMHI (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut) er benyttet til at beskrive udviklingen af klorofyl og lyssvækkelse (sigtdybde) fra 1989 og frem til og med 2015. De årlige middelværdier er beregnet som et gennemsnit af alle stationer inden for hhv. åbne indre farvande samt fjorde og kystnære områder. Til beskrivelsen af klorofyl og lyssvækkelse er benyttet samme metode til indeksering, som er brugt i forbindelse med beskrivelsen af næringsstofkoncentrationer, hvor årsmidler er blevet beregnet med en tresidet variansanalyse for hhv. fjorde, kystvande og åbne farvande (bilag 1).

Algevæksten (primærproduktionen) i vandet måles som planteplanktons optag af kulstof i en eller flere dybder ved en række lysintensiteter. Ud fra disse målinger fastlægges sammenhængen mellem lys og algevækst. Disse data kombineres med målinger af lyssvækkelse og planteplanktons fordeling ned gennem vandsøjlen, således at man får et mål for algevæksten pr. areal af havoverfladen ($\text{mg kulstof m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). De første målinger er fra 1975, og antallet af stationer i måleprogrammet har varieret gennem årene. I 2015 blev der målt på 13 stationer fordelt på 9 stationer i de åbne indre farvande og 4 i fjorde. Det er dog langt fra alle stationer, som er målt i alle år. Da niveauet for algevæksten er forskelligt mellem stationer, vil en middelværdi af de absolutte værdier påvirkes af hvilke stationer, som er målt det enkelte år. Dette kan til en vis grad udjævnnes ved at beregne produktionen for hver station og år som procent af middelværdien (PP-%) på den pågældende station (lign. 1). Derefter beregnes middelværdien af PP-% pr. år for alle stationer i henholdsvis de åbne indre farvande og fjordene. For at vise den tidslige udvikling i absolutte værdier og niveauforskellen mellem fjorde og åbne indre farvande, er PP-% regnet tilbage til enheden ($\text{mg kulstof m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$) i figur 6.1 og 6.3 ved at gange med den gennemsnitlige produktion for henholdsvis fjorde og åbne indre farvande. De øvrige beregninger for årsproduktionen (tabel 6.1 og 6.2) er udført som PP-%.

$$\text{PP-\% (station, år)} = \text{PP (station, år)} / \text{PP-middel (station)} \times 100 \quad (\text{lign. 1})$$

I 1998 blev metoden for måling og beregning af algevæksten ændret på en række punkter. Effekterne af disse ændringer er en stigning i arealproduktionen på 13 %, baseret på sammenligninger af data beregnet med begge metoder for 2013. Værdier fra før 1998 er derfor øget med 13 %.

Biomassen for flercellet dyreplankton og kiselalger er fejlbehæftede pga. fejl i biomasseberegningerne i databasen, som ifølge Naturstyrelsen (NST) kan være gældende for visse data fra perioden 2006-2015. Det flercellede dyreplankton indgår derfor ikke i årets havrapport. For encellet dyre-mikroplankton (protozoer) og planteplankton er data trukket uden om de fejlagtige kodninger og tilføjet de nødvendige koder til biomasseberegningerne efter retningslinjerne angivet i den tekniske anvisning (Jakobsen & Fossing 2015). Denne beregning er udført for alle data efter 2006. Data for planteplankton og dyremikroplankton afventer derfor genberegning, og disse data var derfor ikke

officielt kvalitetssikret ved rapportens udfærdigelse. Den afsluttende kvalitetsstikring af data for planteplankton vil blive endeligt foretaget, når biomasserne er genberegnet i ODA.

Sæsonvariation 2015

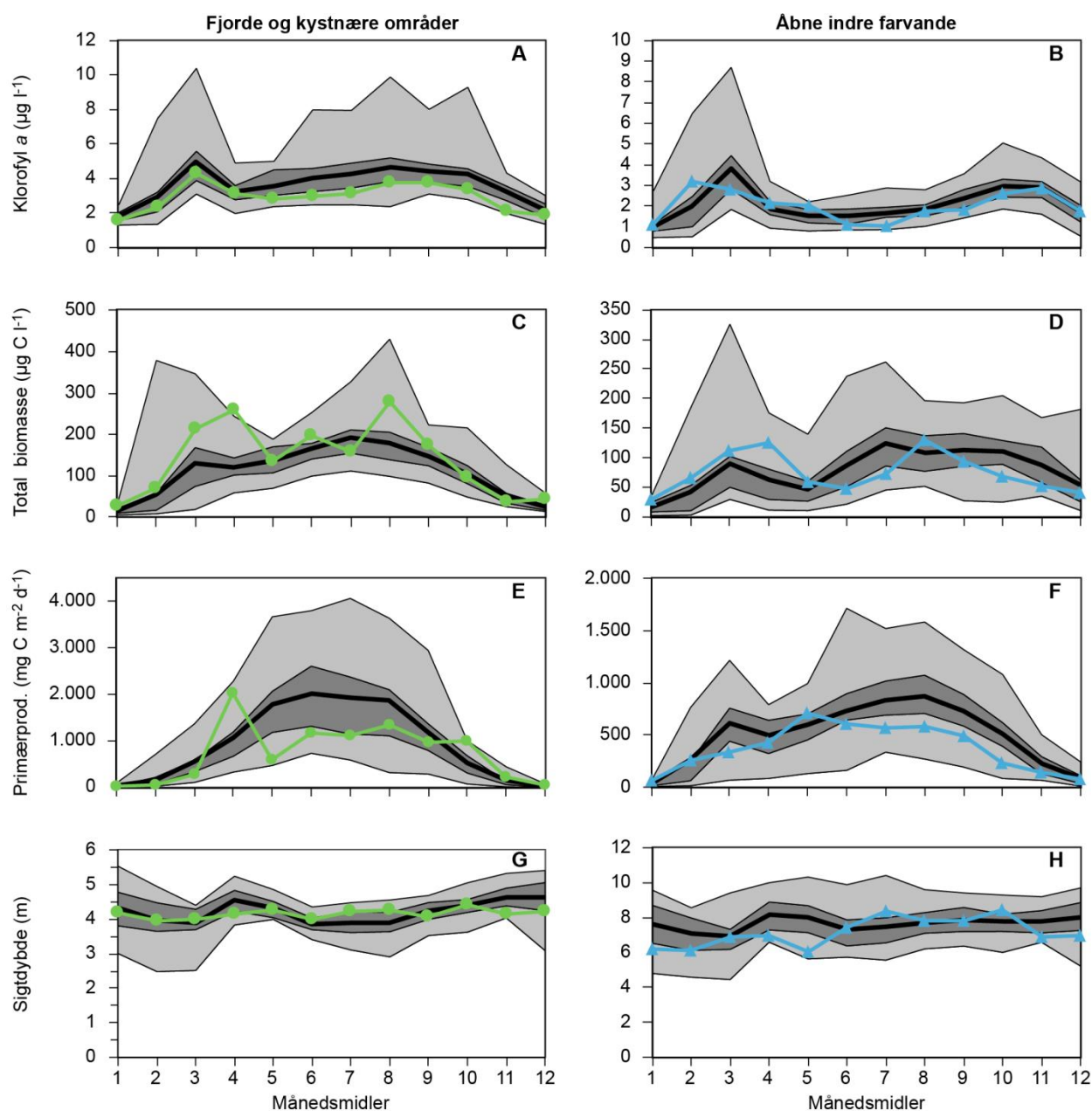
Fjorde og kystnære områder

Sæsonvariationen for klorofyl i fjorde og kystnære områder i 2015 viste den sædvanlige fordeling for tempererede havområder med en forårsopblomstring i marts, herefter lidt lavere koncentrationer fra april til juli fulgt af en moderat efterårsopblomstring fra august til oktober (*figur 6.1A*). Niveauet følger 25 % kvartilen for de tidligere år meget tæt og viser dermed, at klorofylkoncentrationen er faldet i forhold til tidligere. Forårsopblomstringen i 2015 var markant større end i 2014, måske pga. den kraftige afstrømning i januar på to gange det normale (*kapitel 2*). Der var således flere næringsstoffer til rådighed for algevæksten om foråret i 2015 end i 2014 (se sæsonfordelingen af opløst uorganisk kvælstof (DIN) i *kapitel 2*). Den højeste koncentration var i marts ($4,3 \mu\text{g Chl l}^{-1}$), men generelt lå koncentrationen mellem $2,1$ og $3,8 \mu\text{g Chl l}^{-1}$ i vækstsæsonen fra februar til november. Middelværdien for året var $2,9 \mu\text{g Chl l}^{-1}$. Klorofylkoncentrationen i november var helt nede på niveau med den lavest målte værdi for denne måned siden 1989.

Planteplanktonets kulstofbiomasse i fjorde og kystnære områder viste også en typisk sæsonfordeling for tempererede områder, men med et særlig markant maksimum både forår og efterår, hvilket formodentlig afspejler de lidt højere koncentrationer af kvælstof (*figur 6.1C*; *kapitel 2*). Planteplanktonets kulstofbiomasse i 2015 var således højere end langtidsmidlen med meget høje værdier på $260 \mu\text{g C l}^{-1}$ i april og $280 \mu\text{g C l}^{-1}$ i august.

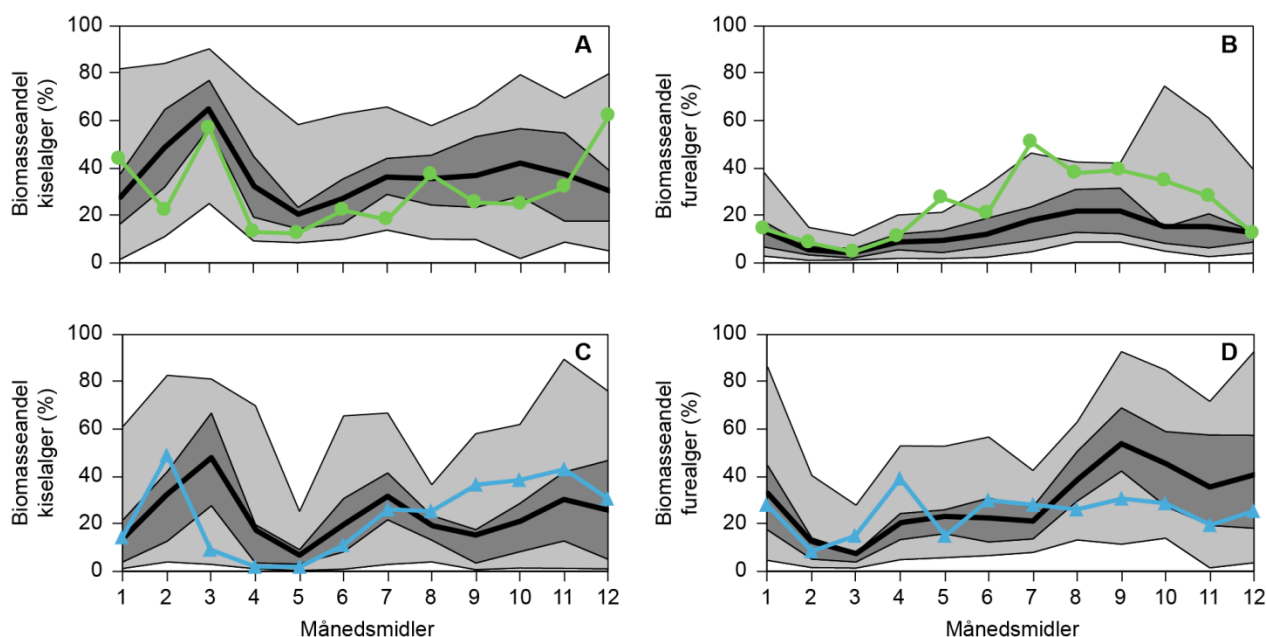
Algevæksten i februar og marts var lavere end normalt og lå på den nedre kvartil i august (*figur 6.1E*). Til gengæld var algevæksten meget høj i april, $2,026 \text{ mg kulstof pr. m}^2$ i middel for de fire fjordstationer, hvilket er det dobbelte af det normale og helt oppe omkring 90 % fraktilen set i forhold til tidligere år. Det var især stationerne i Roskilde Fjord, Løgstør Bredning og Odense Fjord, som udviste en markant forårstop i produktionen; kun slusefjorden Ringkøbing Fjord havde i april en lavere algevækst end langtidsmidlen. Målingerne viste således en forsinket forårsopblomstring, som udviklede sig meget kraftigt i april. Mønsteret afveg markant fra 2014, hvor forårsopblomstring var næsten fraværende. I maj var produktionen meget lav, antagelig fordi både uorganisk fosfor og kvælstof blev brugt under forårsopblomstring i april (*kapitel 2*). I juni, juli og august var algevæksten lav og væsentligt under middelværdien for langtidsmidlen. I oktober var der igen en høj vækst.

Sigtedybden i fjorde og kystnære områder udviste kun mindre udsving i løbet af året og lå i alle måneder omkring 4 m (*figur 6.1G*). I juli og august var vandet klarere end normalt, og sigtedybden lå på 75 % fraktilen. I november og december var vandet markant mere uklart end normalt, hvilket kan skyldes den høje algevækst i oktober og/eller resuspension pga. blæsten i november og december (*figur 6.1E*; *kapitel 2*).



Figur 6.1. Månedsmidler for 2015 for klorofyl a (A, B), algebiomasse ud fra tællinger (C, D), algevækst/primærproduktion (E, F) og sigtdybde (G, H) for fjorde og kystnære områder (●, venstre kolonne) og åbne indre farvande (▲, højre kolonne). Variationer i forhold til langtidsmidlen (1989-2014 for klorofyl a, algebiomasse og sigtdybde, 1975/1977-2014 for algevæksten) er angivet med minimum og maksimum (lysegrå afgrænsning), nedre og øvre kvartil (mørkegrå afgrænsning) samt middelværdien (fed sort linje).

Den procentvise månedsfordeling af kiselager og furealger (dinoflagellater) fulgte i store træk langtidsmidlen for perioden 1989-2014 i fjorde og kystnære områder (figur 6.2A). Det typiske forløb er en kiselalgeopblomstring om foråret og en mindre opblomstring om efteråret. Modsat kiselalgerne, har furealgerne deres dominans i sommer-/sensommermånederne (juni/juli-august) i fjorde og kystnære områder (figur 6.2B). Furealgeres bidrag til den samlede biomasse i fjorde og kystnære områder adskilte sig i 2015 fra de forgående år ved, at deres biomasse fra april og indtil december var betydeligt højere end den gennemsnitlige månedsfordeling.



Figur 6.2. Sæsonvariation i bidraget af kiselalger (A, C) og furealger (B, D) til den totale kulstofbiomasse i 2015 for fjorde og kystnære områder (●, øverste række) og åbne indre farvande (▲, nederste række) angivet i % af den totale biomasse af planteplankton. Variationen for langtidsmidlen (1989-2014) er angivet med minimum og maksimum (lysegrå afgrænsning), nedre og øvre kvartil (mørkegrå afgrænsning) samt middelværdien (fed sort linje).

Sæsonvariationen i algevæksten i 2015 afspejler således overordnet de positive effekter af de senere års lavere næringsstofftilførsler, idet algevæksten var begrænset af næringsstoffer fra maj til og med august, hvor afstrømningen fra land er den vigtigste kilde til næringsstoffer (figur 6.1E). I forårsperioden er algevæksten baseret på næringsstoffer, som er akkumuleret i løbet af vinteren, hvor væksten er begrænset af mangel på lys. En høj vinterafstrømning, som forud for foråret 2015, betyder store tilførsler af næringsstoffer fra land, som stimulerer forårsopblomstringen. Timing af planteplanktons forårsopblomstring bestemmes af et samspil mellem lys, vandsøjleens omrøring og græsning. I sensommeren bliver næringsstoffer, som frigøres fra bunden i forbindelse med iltsvind, en væsentlig kilde til algevækst. I perioden 2013-15 var algevæksten i sensommeren uændret over årene (Hansen (red.) 2015a, b). Det kan indikere, at der endnu er store puljer af næringsstoffer i bunden. Denne fortolkning underbygges af udviklingen i planteplanktonets biomasse, hvor sensommeropblomstringen i 2015 var noget over langtidsmidlen. Klorofyl var i samme periode tæt på middelværdien, hvilket antyder fravær af en direkte kobling mellem klorofyl og planteplanktons kulstofbiomasse.

Åbne indre farvande

I de åbne områder var sæsonmønstret overordnet som de foregående år, dog undtaget den usædvanligt tidlige forårsopblomstring i februar mod normalt i marts (figur 6.1B). Generelt lå klorofylkoncentrationerne omkring eller lige under middelværdien. I marts, juni, juli og september var koncentrationerne lavere end langtidsmidlen. Klorofylkoncentrationen var hele året mellem 1,0 og 3,2 $\mu\text{g l}^{-1}$ med en middelværdi på 2,0 $\mu\text{g l}^{-1}$.

Planteplanktonets biomasse steg fra februar til en maksimal biomasse i april. Derefter faldt biomassen til værdier, der det meste af tiden var under langtidsgennemsnittet for 1989-2014 (figur 6.1D).

Algevæksten i de åbne områder havde også en lidt usædvanlig sæsonfordeling. Modsat planteplanktonets biomasse viste algevæksten ikke en egentlig top i produktionen, og den højeste algevækst forekom først i maj måned, hvor planteplanktonets biomasse begyndte at falde. Stigningen i algevæksten kan delvist skyldes tilførsel af næringsrigt Nordsøvand i april og maj (*kapitel 5*). Produktionen i maj var således højere end normalt og svarede ca. til 75 % fraktilen, mens den fra juni og helt hen til november var markant under middelværdien for langtidsmidlen og ofte under 25 % fraktilen. I sensommer og tidligt efterår er algevæksten normalt kvælstofbegrænset, og effekten af generelt lavere kvælstoftilførsler er således tydelig. Sæsonvariationen viste, at algevæksten styres af lyset og tilførsler af næringsstoffer, mens en række forhold, som fx græsning og resuspension af partikler, som nævnt i indledningen, har stor betydning for klorofylkoncentration og sigtddybde (*Timmermann m.fl. 2014*).

Sigtddybden var generelt lavere i 2015 end langtidsmidlen, hvilket især skyldes uklart vand fra januar til og med maj og igen i november og december. Kun i juni og juli var vandet markant klarere end normalt. Middelværdien for 2015 var 7,2 m og minimum og maksimum var henholdsvis 6,0 og 8,5 m (*figur 6.1H*).

Sæsonvariationen for det procentvise bidrag af kiselalger og furealger i de åbne indre farvande adskilte sig fra langtidsmidlen ved, at det procentvise bidrag fra kiselalger i efteråret lå væsentligt over langtidsgennemsnittet modsat furealgerne, som normalt dominerer om efteråret (*figur 6.2A*).

Tidslig udvikling

Fjorde og kystnære områder

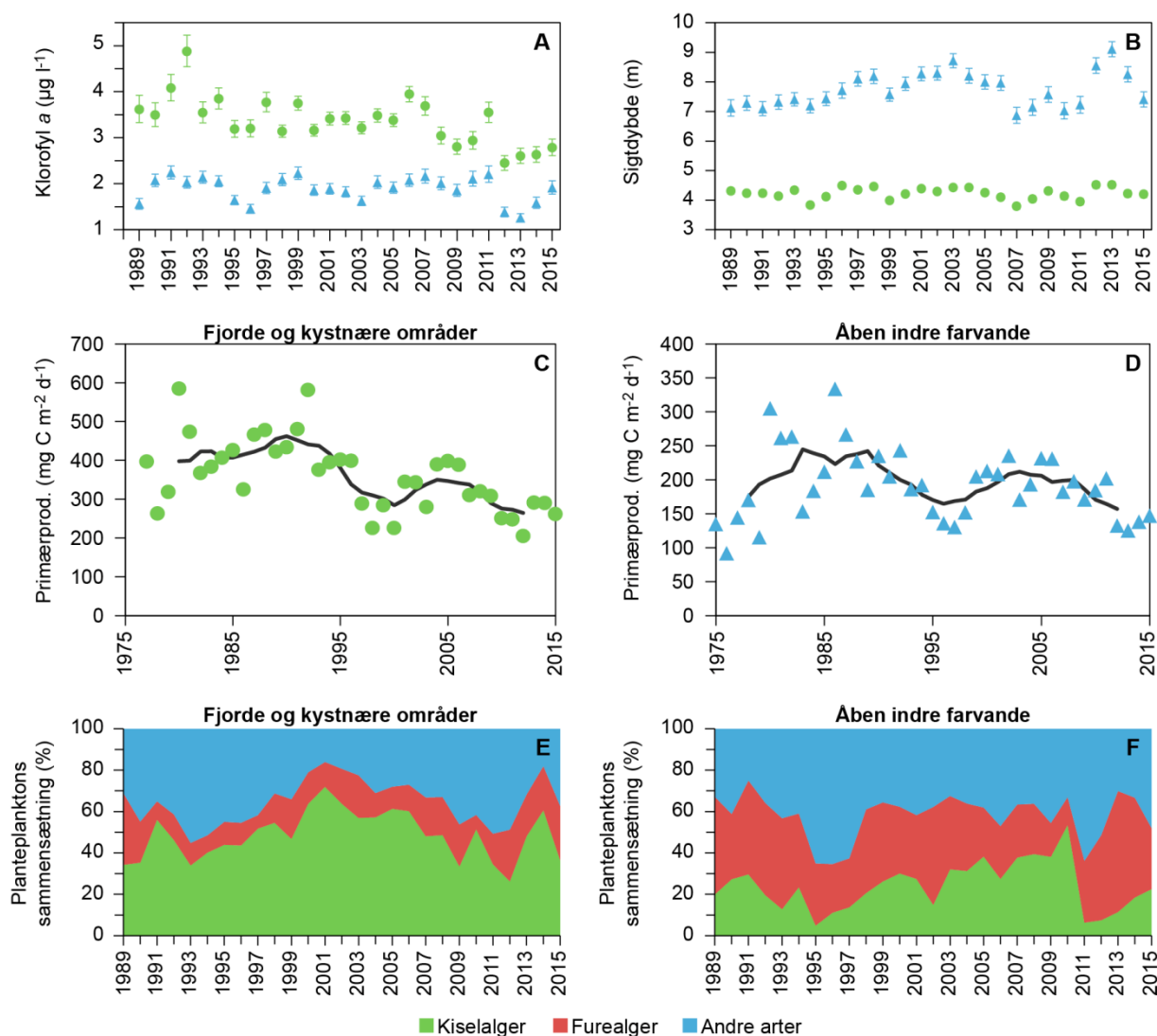
Generelt var miljøtilstanden for de frie vandmasser relativt god i fjorde og kystnære områder i 2015. Klorofylkoncentrationen var lidt højere end i 2014, men dog stadig på et lavt niveau sammenlignet med tidligere (*figur 6.3A*). Vandets klarhed viste ikke nogen tydelig udvikling med de her anvendte analyser, men det er dokumenteret i andre mere detaljerede analyser, at generelt giver en stigning i tilførslen af næringsstoffer en dårligere sigtddybde, mens en reduktion i tilførslen af næringsstoffer giver en bedre sigtddybde (*figur 6.3B*; *Lyngsgaard m.fl. 2014*; *Timmermann m.fl. 2015*; *Erichsen m.fl. 2014*).

Algevæksten svarede til niveauet i 2013 og 2014, som var lidt højere end niveauet fra 2010 til 2012 men på et markant lavere niveau end i 1980'erne og 1990'erne (*figur 6.3C*). Den tidslige udvikling i algevæksten er analyseret med lineær regression af algevæksten i forhold til år. Af *figur 6.3C* fremgår det tydeligt, at resultatet afhænger af den valgte periode. I fjorde og kystnære områder har der siden midt i 1970'erne været en signifikant faldende algevækst, som er aftaget 1,3 % pr. år (*tabel 6.1*). I 1978 og 1979 var produktionen nede omkring 300 mg C m⁻² d⁻¹, dvs. omkring niveauet i 2015. Målingerne fra denne periode er dog usikre, men kan indikere, at næringsstoftilførslerne på det tidspunkt var på et lavere niveau. I 1980'erne toppede algevæksten, og regressionerne med start i 1980, 1985 og 1990 viser et fald frem til 2015 på mellem 1,7 og 2,0 % pr. år. Fra 1995 til 2000 er koefficienterne negative, men ikke signifikante. Det mest markante fald var fra 2005 og frem, hvor produktionen faldt signifikant med 3,7 % pr. år.

Den relative fordeling mellem kiselalger, furealger og andre arter beregnet som årsmiddelværdier i perioden 1989-2015 viser, at kiselalger udgjorde 30-70 % af den samlede biomasse i fjorde og kystnære områder (figur 6.3E).

Tabel 6.1. Statistisk analyse af den tidlige udvikling i algevæksten. Koefficienten for udviklingen over tid (procent af middelværdi for hele perioden/år⁻¹) og signifikans er angivet for henholdsvis fjorde og kystnære områder og åbne indre farvande for de angivne årstal og frem til 2015. Statistisk signifikante trends er fremhævet med gråtone.

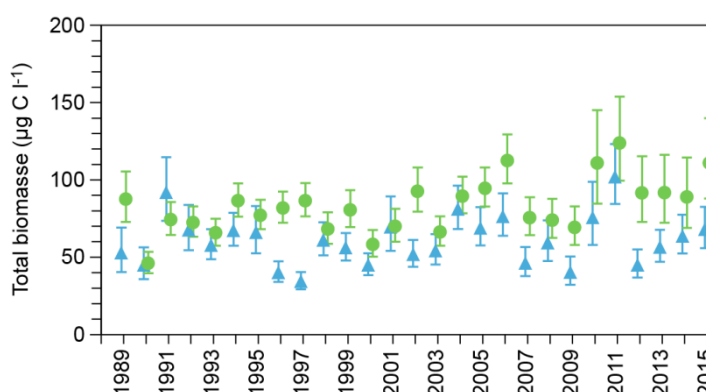
Periode	Fjorde		Åbne indre farvande	
	Ændring/år (%)	Signifikans (P-værdi)	Ændring/år (%)	Signifikans (P-værdi)
Alle data, se figur 6.3C, D	-1,26	0,0003	-0,33	0,33
1980 >	-1,74	0,0001	-1,27	0,0004
1985 >	-1,83	0,0001	-0,99	0,019
1990 >	-2,00	0,0007	-0,71	0,18
1995 >	-0,88	0,16	-0,50	0,52
1998 >	-0,36	0,63	-2,40	0,0031
2000 >	-1,25	0,16	-2,81	0,003
2005 >	-3,71	0,0056	-5,76	0,0003



Figur 6.3. Tidlig udvikling for klorofyl a (A, B), algevækst (årligt genemsnit og syv års glidende gennemsnit) for fjorde (C) og de åbne indre farvande (D). E og F angiver den procentvise fordeling mellem furealger, kiselalger og andre arter i fjorde og kystnære områder (E) samt i de åbne indre farvande (F).

Årsmiddelbiomassen i fjorde og kystnære områder viste, modsat algevæksten og klorofylkoncentrationen, en mindre men signifikant stigning for perioden 1989-2015 (figur 6.4, $P < 0,05$). De to mål for algebiomassen, klorofyl og kulstof viste således en modsat udvikling over årene. Som konsekvens er forhold mellem kulstof og klorofyl steget med årene, som det også er beskrevet i Jakobsen & Markager (2016). Dette skyldes formodentlig planktonalgerne fysiologi, idet en stigende næringsstofbegrænsning betyder, at algerne ikke kan omsætte det fikserede kulstof til nye celler. Da algevæksten delvist styres af lyset, forsætter algevæksten, selvom der ikke er næring, og algerne ophober det fikserede kulstof i cellerne. Det er lidt overraskende, at algebiomassen, målt som kulstof, ligefrem er stigende, men en forklaring kan være, at græsningen falder pga. en lavere næringsværdi i algerne. Fænomenet er mest tydeligt i fjordene, hvor effekten af lavere næringsstofforsyning fra land også er mest markant.

Figur 6.4. Årsmidler $\pm$ 95 % konfidensgrænser for kulstofbiomassen af planteplankton for fjorde og kystnære stationer (●) og de åbne indre farvande (▲).



Åbne indre farvande

I de åbne områder var der i 2013, 2014 og også i 2015 sket en forværring af miljøtilstanden i de frie vandmasser. Algevæksten var steget lidt i forhold til 2013 og 2014, men var dog fortsat væsentlig lavere end i starten af 00'erne (figur 6.3D). Stigningen i algevæksten siden det lave niveau i 2013 følger en stigende kvælstoftilførsel siden 2012 (Wiberg-Larsen m.fl. 2015). De stigende kvælstoftilførsler siden 2012 falder sammen med en markant stigning i klorofylkoncentrationen (fra 1,25 til 1,91 $\mu\text{g Chl l}^{-1}$), stigende mængder mikrodyreplankton og et fald i sigtdybden fra 9,1 til 7,4 m (figur 6.3A, B og 6.7A, B).

Den relative fordeling mellem kiselalger, furealger og andre arter beregnet som årsmiddelværdier i perioden 1989-2015 viste, at kiselalger udgjorde 30-70 % af den samlede biomasse i fjorde og kystnære områder (figur 6.3E) og mellem 5-50 % i de åbne indre farvande (figur 6.3F). Kiselalgernes bidrag til fytoplanktonsammensætningen i fjorde og kystnære områder var ganske lav (ca. 35 %) i 2015, og det tredje laveste siden 1989, mens det var i den lave ende (ca. 20 %) i de åbne indre farvande.

Når den tidlige udvikling i algevæksten analyseres med lineær regression af algevæksten i forhold til år, peger analysen på et tilsvarende mønster som for fjorde og kystnære områder (tabel 6.1). I 1970'erne var algevæksten helt nede omkring $100 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, dvs. lavere end dagens niveau, hvorfor der ikke er nogen signifikant ændring vurderet for hele perioden. Siden 1998 er produktionen faldet med 2,4 % pr. år, og fra 2005 og frem er produktionen faldet 5,8 % pr. år. En lavere algevækst betyder en lavere tilførsel af organisk stof til bunden, hvilket burde give mindre iltsvind, såfremt de klimatiske

forhold er uforandrede. Der blev ikke observeret nogen signifikant udvikling i planteplanktonets biomasse i de åbne indre farvande (figur 6.4, $P > 0,5$).

Effekten af kvælstof i fjorde og kystnære områder og åbne indre danske farvande

Regressionsanalysen af algevækst mod år er ikke optimal, da år til år variationer i afstrømningen giver betydelige variationer i den faktiske kvælstoftilførsel, uanset at niveauet for kvælstoftilførsler er faldende. En statistisk bedre metode til vurdering af betydningen af kvælstof for algevæksten er at se på den direkte sammenhæng mellem kvælstoftilførsler og algevæksten.

For de åbne indre farvande er der en signifikant sammenhæng mellem kvælstoftilførsel og algevækst for alle perioder af år, og algevæksten reduceres mellem 0,3 og 0,6 % pr. procent fald i de danske landbaserede kvælstoftilførsler (tabel 6.2). Kvælstoftilførslerne er beregnet som middel fra februar til august, og overfladeindstrålingen er beregnet fra april til december. Begge periode er valgt ud fra tidligere analyser af hvilke perioder, som giver den bedste sammenhæng til algevæksten. Analyserne indikerer, at overfladeindstrålingen ikke har nogen signifikant effekt på algevæksten.

Tabel 6.2. Statistisk analyse af sammenhængen mellem kvælstoftilførsler, lys og algevæksten med koefficienter og P-værdier for fjorde og kystnære områder og åbne indre farvande for de angivne årstal og frem. Statistisk signifikante trends er fremhævet med gråtone.

	Fjorde				Åbne indre farvande			
	N-koef.	P-værdi	Lys-koef.	P-værdi	N-koef.	P-værdi	Lys-koef.	P-værdi
1984 >=	0,39	0,004	0,71	0,36	0,30	0,010	-0,05	0,94
1990 >=	0,33	0,025	1,37	0,15	0,28	0,021	0,30	0,70
1998 >=	0,19	0,23	1,72	0,04	0,60	0,0015	1,15	0,15

For fjordene er der også en signifikant positiv sammenhæng mellem kvælstoftilførsel og algevækst fra 1984 og frem og fra 1990 og frem. Her er koefficienterne henholdsvis 0,33 og 0,39 % pr. procent fald i de landbaserede kvælstoftilførsler. Når man kun medtager data fra 1998 og frem, er koefficienten stadig positiv, men ikke signifikant. For fjordene gælder, at der er en tæt kontakt mellem bunden og vandsøjlen, og en betydelig del af den samlede tilførsel af næringsstoffer til vandsøjlen frigives fra bunden. Denne frigivelse styres af puljen af næringsstoffer i bunden og forekomsten af ilt i bundvand og sediment.

Denne mekanisme betyder, at det er forventeligt, at den direkte sammenhæng mellem landbaserede kvælstoftilførsler og algevæksten er svagere i fjordene end for de åbne indre farvande, hvor planteplankton i overfladevandet ikke i samme udstrækning tilføres næringsstoffer fra bunden. Over tid må det dog antages, at fjordbundens puljer af næringsstoffer mindskes. Ligeledes vil en generelt aftagende algevækst betyde, at der tilføres mindre organisk stof til bunden, og at iltforbruget og udbredelsen af iltsvind derfor vil aftage. Tilsammen vil det give lavere tilførsler af næringsstoffer også fra bunden, og dermed et yderligere fald i algevæksten.

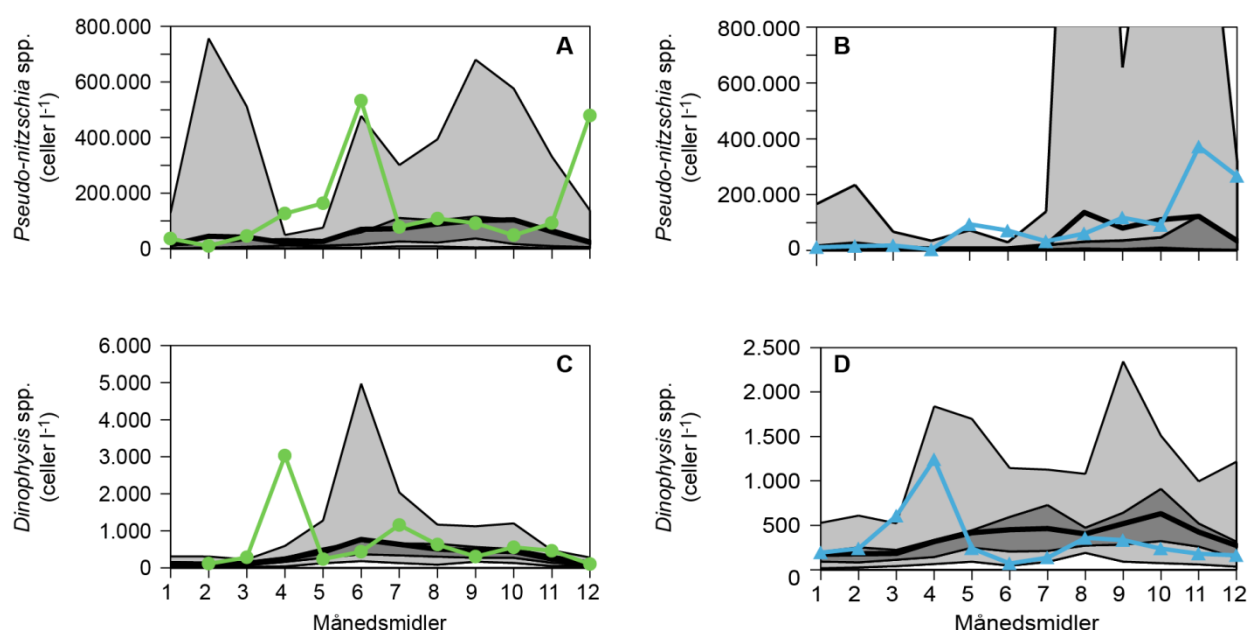
Potentielt toksisk og på anden måde skadeligt planteplankton i 2015

Der er tre algeslægter, *Pseudo-nitzschia*, *Dinophysis* og *Alexandrium*, der potentielt kan skabe problemer i det marine havmiljø (figur 6.5).

En relativt stor del af kiselalger tilhørende slægten *Pseudo-nitzschia* danner neurotoksinet domiocytsyre (DS), der giver neurologiske forstyrrelser såsom

hukommelsestab. Algen ophobes i muslinger, og der har været forgiftninger i Canada med dødelig udgang. *Pseudo-nitzschia* er et stigende problem globalt (Trainer *m.fl.* 2012), og den øgede udbredelse antages at hænge sammen med stigende eutrofiering (Parsons *m.fl.* 2002). Der er derfor fastlagt koncentrationsgrænser i vandet i forhold til humant konsum af muslinger på 200.000 *Pseudo-nitzschia serriata* l⁻¹ og 500.000 celler l⁻¹ for de øvrige arter af *Pseudo-nitzschia*. Formodentligt er masseforekomst af de enkelte arter af *Pseudo-nitzschia* knyttet til årstiden, og der er muligvis en løbende artssuccession af *Pseudo-nitzschia* gennem året. Desværre er arter af *Pseudo-nitzschia* i de danske farvande vanskelige at skelne fra hinanden i mikroskopet og behandles derfor under ét som *Pseudo-nitzschia* spp.

Typisk forekommer *Pseudo-nitzschia* i de danske farvande med forhøjede forekomster i februar og marts og igen i løbet af sommeren og hen over efteråret (figur 6.5A, B). I fjorde og kystnære områder blev der observeret koncentrationer af *Pseudo-nitzschia* spp. > 200.000 celler l⁻¹ i maj-juni samt i december i Aarhus Bugt, Skive Fjord samt i Odense Fjord. I de åbne indre farvande observeredes *Pseudo-nitzschia* spp. i koncentrationer > 200.000 celler l⁻¹ i nogle enkelte tilfælde i maj-juni ved Aalborg Bugt samt i det nordlige Lillebælt. Stigende forekomster blev igen fundet på flere lokaliteter i løbet af efteråret med meget høje koncentrationer mod årets slutning.



Figur 6.5. Sæsonvariation i *Pseudo-nitzschia* spp. (A, B) og *Dinophysis* spp. (C, D) i 2015 for fjorde og kystnære områder (●) og åbne indre farvande (▲). Koncentrationerne er angivet i celler l⁻¹. Variationen for langtidsmidlen (1989-2014) er angivet med minimum og maksimum (lysegrå afgrænsning), nedre og øvre kvartil (mørkegrå afgrænsning) samt middelværdien (fed sort linje).

Furealgeslægten *Dinophysis* indeholder arter, der producerer toksinet okada-insyre, som opkoncentreres i eksempelvis muslinger og kan forårsage diarré (Diarrhetic Shellfish Poisoning, DSP). Giftigheden varierer generelt meget, og der er for *Dinophysis acuminata* rapporteret effekter relateret til konsummuslinger ved cellekoncentrationer fra omkring 200 celler pr. l⁻¹ (Lassus *m.fl.* 1985).

På slægtsniveau var koncentrationen af *Dinophysis* som årsmiddel 256 celler l⁻¹ i fjorde og kystnære områder og signifikant stigende i perioden 1988-2015 ($P < 0,02$). I de åbne indre farvande var årsmidlen 304 celler l⁻¹ i 2015 og sig-

nifikant faldende i perioden 1988-2015 ($P < 0,005$). Både i fjorde og i de åbne indre farvande var der opblomstringer i april, hvorefter koncentrationen faldt i maj og juni til under langtidsgennemsnittet for 1984-2014. Derefter steg koncentrationen igen til over langtidsgennemsnittet i juli i fjorde og kystnære områder, mens koncentrationen i de åbne indre farvande forblev under langtidsgennemsnittet (figur 6.5C, D).

På artsniveau var forekomsten af *Dinophysis* lavere end grænseværdierne for muslingefiskeriet (100, 500 og 1.000 celler l^{-1} for hhv. *D. acuta*, *D. acuminata* og *D. norvegica*) i 2015. Der blev indrapporteret forekomster af *Dinophysis acuminata*, *Dinophysis norvegica* samt *Dinophysis acuta* i flere tilfælde i 2015, hvoraf størstedelen var *Dinophysis acuminata*. I de åbne indre farvande observeredes *Dinophysis acuta* i koncentrationer > 100 celler l^{-1} i efteråret to gange ud for henholdsvis Sjællands Odde og ud for Frederikshavn. *Dinophysis acuminata* blev målt i koncentrationer > 500 celler l^{-1} i marts og april ved Frederikshavn og i Lillebælt (april-marts). I sensommeren og i løbet af efteråret blev *Dinophysis acuminata* observeret igen i Lillebæltområdet. *Dinophysis norvegica* forekom i tætheder > 1.000 celler l^{-1} i det sydlige Lillebælt i marts og i april, ved Frederikshavn i april, maj og august, samt ud for Sjællands Odde i april.

I fjorde og kystnære områder var der ingen observationer af *Dinophysis acuta*. *Dinophysis acuminata* blev fundet i koncentrationer > 500 celler l^{-1} ved Mariager Fjord i efteråret, ved Skive Fjord om sommeren og i Aarhus Bugt én enkelt gang i foråret samt et par gange i løbet af efteråret.

Dinophysis norvegica blev fundet i koncentrationer > 1.000 celler l^{-1} ved en enkelt måling i Aarhus Bugt i august.

Andre potentielt toksiske furealger findes i slægten *Alexandrium*. Rapporteringer om forekomsten af denne slægt var i 2015 begrænset til *Alexandrium pseudogonyaulax*. Giftigheden af *Alexandrium pseudogonyaulax* er ukendt, og den producerer så vidt vides ikke PSP (Paralytic Shellfish Poisoning). *A. pseudogonyaulax* er mixotrof og græsser på planteplankton (Blossom m.fl. 2012), og den anvender gift til at immobilisere eksempelvis andre furealger, som derefter fortæres. I 2015 blev den kun observeret i koncentrationer over 1.000 celler l^{-1} i juli-august i Skive Fjord (1.000-4.000 celler l^{-1}) og 1.275 celler l^{-1} i Aarhus Bugt i september. Disse koncentrationer er dog markant lavere end de cellekoncentrationer på 25.000 celler l^{-1} , som er påvist at have en tydelig akut toksisk mobilitetseffekt på planteplankton inden for 30 minutter (Blossom m.fl. 2012). Desværre kendes effekten af længerevarende påvirkningen af naturlige koncentrationer af *Alexandrium pseudogonyaulax* på fødekæden ikke, og der mangler systematiske studier, der adresserer effekten på fx fisk og dyreplankton. Overordnet var forekomsten af slægten *Alexandrium* i 2015 ikke alarmerende i hverken de åbne indre farvande eller i fjorde og kystnære områder.

Dyreplankton

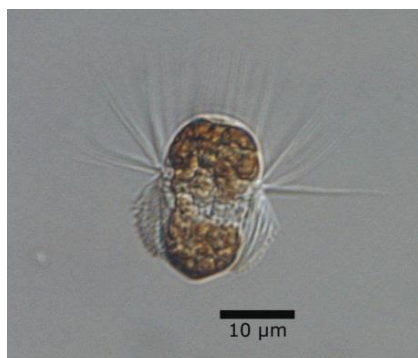
Det flercellede dyreplankton er ikke medtaget i dette års havrapport pga. problemer med beregning af biomasse (se nærmere forklaring i metodeafsnittet).

Det encellede dyreplankton (mikro-dyreplankton) består af ciliater og af en række andre grupper, blandt andet de relativt store heterotrofe furealger og en række mindre flagellater.

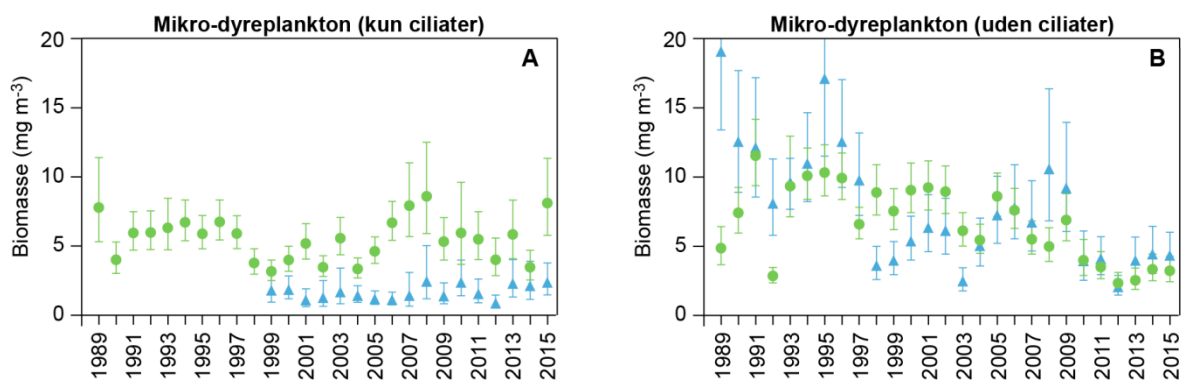
Mikro-dyreplankton har en nøglerolle for overgangen mellem planktonalger og de højere trofisk niveauer i fødekæden. Mikro-dyreplanktonet er særligt vigtig i sommerperioden, hvor planteplanktoncellerne er små og i højere grad græsses af mikro-dyreplankton end af de større flercellede dyreplankton (mesozooplankton) især i form af vandlopper. Rapporteringen for mikro-dyreplankton er derfor fokuseret på sommerbiomassen.

Et stadig større antal arter af især furealger, der førhen blev klassificeret som enten autotrofe (plante) eller heterotrofe (dyr), erkendes i stigende omfang som mixotrofe (både og). Det må derfor antages, at biomassen af heterotroft encellet dyreplankton reelt er større end den nuværende beregnede.

Figur 6.6. *Mesodinium rubrum* er en lille ca. 25 μm lang mixotrof ciliat, der danner periodiske opblomstringer. Denne ciliat æder kun nogle bestemte alger af slægten *Cryptophyceae*, der er karakteriseret ved, at de har nogle specielle rødbrune pigmenter. På billedet ses rødbrune kloroplaste fra bytteceller fordelt i begge ender af ciliaten. Foto: Hans Jakobsen.



I sommeren 2015 var biomassen af ciliater ($8,1 \text{ mg C m}^{-3}$) som i de tidligere år større i fjorde og kystnære områder end i de åbne indre farvande ($3,4 \text{ mg C m}^{-3}$) (figur 6.7A). For det øvrige mikro-dyreplankton var biomassen i 2015 25 % større i de åbne indre farvande ($4,3 \text{ mg C m}^{-3}$) end i fjorde og kystnære områder ($3,2 \text{ mg C m}^{-3}$). I forhold til det øvrige mikro-dyreplankton udgjorde ciliaterne ca. 35 % af den samlede biomasse af mikro-dyreplankton i fjorde og kystnære områder og 75 % af den samlede biomasse i de åbne indre farvande.



Figur 6.7. Udviklingen i den gennemsnitlige sommerbiomasse (mg m^{-3}) af mikro-dyreplankton for fjorde og kystnære områder (●) og åbne indre farvande (▲). Figur A og B angiver hhv. biomassen af ciliater og det øvrige mikro-dyreplankton.

Fra 2008 til 2015 faldt biomassen af ciliater med ca. 41 % i fjorde og kystnære områder og 11 % i de åbne indre farvande (figur 6.7B). Sommerbiomassen af ciliater var i 2015 på niveau med de højeste biomasser målt i overvågningsperioden både for fjorde og kystnære områder og for de åbne indre farvande. I de åbne indre danske farvande har der været en stigning siden 2012 for både ciliater og andet mikro-dyreplankton i overensstemmelse med stigende mængder af planteplankton i denne periode. Det skal bemærkes, at der for det øv-

rige mikro-dyreplankton har været et fald i biomassen siden 2008 på 57 % i de åbne indre farvande og på 33 % i fjorde og kystnære områder.

Ciliater har typisk hurtigere vækstrater end de heterotrofe furealger, der udgør hovedparten af det øvrige mikro-dyreplankton (Hansen *m.fl.* 1997; Jakobsen & Hansen 1997). Ciliater æder mindre bytte end fx heterotrofe furealger (Hansen *m.fl.* 1994). Når biomasserne af både ciliater og det øvrige mikro-dyreplankton er faldet siden 1989, kan det skyldes to ting. Enten er græsningstrykket fra mesozooplankton (typisk vandløpper) steget, eller også er fødegrundlaget mindsket. Der er for nærværende ikke tilstrækkelig data til rådighed for mesozooplankton til at kunne be- eller afkræfte den første mulighed. Men mængden af klorofyl er faldet de senere år, hvilket kan afspejle en ændring/fald i fødegrundlaget for mikro-dyreplankton og dermed forklare faldet i dets biomasse.

Sammenfatning

- I perioden 2013-2015 blev der observeret en mindre forværring i miljøtilstanden i de åbne indre farvande med stigende klorofylkoncentrationer og mere uklart vand.
- Miljøtilstanden i de fri vandmasser i 2015 var dog generelt stadig forbedret med mindre algevækst, lavere koncentrationer af alger (målt som klorofyl) og klarere vand i forhold til 1980'erne og 1990'erne.
- Generelt har algevæksten været aftagende i både fjorde og kystnære områder med ændringer fra -1 til -5 % pr. år.
- Der var signifikante sammenhænge mellem danske landbaserede tilførsler af kvælstof og algevæksten i både fjorde og kystnære områder og åbne indre farvande, og algevæksten ændredes med typisk 0,3 % pr. procent ændring i kvælstoftilførslerne.
- Biomassen af planteplankton, målt som kulstofbiomasse, steg svagt men signifikant i perioden 1989-2015 i fjorde og kystnære områder, mens biomassen varierede omkring et konstant niveau i de åbne indre farvande.
- Forholdet mellem kiselalger og furealger var ca. dobbelt så stort i fjorde og kystnære områder som i de åbne indre danske farvande, men har været konstant for begge områder i perioden 1989-2014.
- Slægten *Alexandrium*, der i visse tilfælde kan have skadelige økologiske effekter, spillede i 2015 en minimal rolle i det pelagiske stofkredsløb i de danske havområder.
- Der blev fundet koncentrationer af de potentielt giftige alger *Pseudo-nitzschia* spp. (maj-juni) og *Dinophysis* spp. (april) i fjorde og kystnære områder samt i de åbne indre farvande, der oversteg månedsmidlen for perioden 1988-2014. Derudover var biomassen af *Pseudo-nitzschia* spp. mod årets afslutning (november og december) større end normalt.
- Årsmidlerne af biomassen af mikro-dyreplankton var fortsat lave i 2015.

7 Iltforhold

Jens Würgler Hansen & Jacob Carstensen

Iltsvind er et naturligt fænomen, som forøges i hyppighed, udbredelse, varighed og styrke som følge af eutrofiering (forøget tilførsel af næringsstoffer fra land og atmosfære) og klimaforandringer. Iltsvind opstår, når iltforbruget i bundvandet er større end ilttilførslen. Iltforbruget skyldes bunddyrs samt bakteriers og andre mikroorganismers respiration ved nedbrydning af organisk stof i vandsøjlen og sedimentet, og forbrugets størrelse afhænger af mængden og nedbrydeligheden af det organiske stof og af temperaturen. Eutrofiering fører til øget produktion af planteplankton, som synker til bunds og omsættes mikrobielt. Derved stiger iltforbruget, og der kan udvikles iltsvind ved bunden.

Klimabetinget temperaturstigning øger også risikoen for iltsvind pga. øget respiration og mindre opløselighed af ilt i vand ved højere temperaturer. Ilttilførslen til bundvandet er først og fremmest styret af vejrforholdene, som er afgørende for omrøringen af vandsøjlen og vandudskiftningen nær bunden. Manglende omrøring kan føre til lagdeling af vandsøjlen og utilstrækkelig ilttilførsel til bunden. Iltsvind opstår derfor typisk i forbindelse med stille, varme perioder med temperaturlagdeling af vandsøjlen, og/eller ved saltlagdeling som følge af indtrængende saltere og tungere bundvand eller ferskere og lettere overfladevand. Længerevarende isdække kan også afkoble ilttilførslen til bundvandet og forårsage iltsvind. Overordnet betragtet er det således eutrofieringen, som skaber grundlaget for iltsvind i et omfang ud over det naturlige, mens det er de klimatiske forhold, som udløser det og er afgørende for år til år variationen i iltvindets geografiske fordeling.

I Danmark betegnes det som *iltsvind*, når iltkoncentrationen i vandet er 4 mg l^{-1} eller lavere og som *kraftigt iltsvind*, når koncentrationen er under 2 mg l^{-1} . Niveauet mellem 2 og 4 mg l^{-1} kaldes for *moderat iltsvind*. Iltsvind forekommer oftest fra juli til november. Iltindholdet i bundvandet er af afgørende betydning for livsbetingelserne for bundplanter, bunddyr og bundlevende fisk. Iltsvind påvirker desuden stofomsætningen og biogeokemien i havbunden og dermed den interne tilførsel med næringsstoffer, dvs. frigivelsen af næringsstoffer fra havbunden til vandfasen. Ved moderat iltsvind søger mange fisk og mere mobile bunddyr væk fra de ramte områder, og under længere perioder med kraftigt iltsvind begynder bunddyrene at dø. Kraftigt iltsvind kan også opstå pludseligt, hvis vind og strøm flytter iltfattigt vand fra et område til et andet, hvorved bunddyr og fisk kan blive fanget i det iltfattige vand. Hvide belægninger af svovlbakterier på havbunden – det såkaldte liglagen – viser, at havbunden er helt uden ilt. I den forbindelse kan der sammen med metanbobler (bundvending) frigives svovlbrinte, som er så giftig, at den slår de fleste tilstedeværende bunddyr og fisk ihjel. Når bunddyrene dør, for-



Liglagen og døde eller døende bunddyr i et område med kraftigt iltsvind.

Foto: Peter Bondo Christensen.

svinder fiskenes fødegrundlag og bunddyrenes fysiske aktivitet i havbunden (bioturbation). Bunddyrenes aktivitet er vigtig for at holde havbunden veliltet og dermed reducere den interne tilførsel med næringsstoffer. Der kan gå mange år efter et kraftigt og langvarigt iltsvind, før der igen er etableret et samfund af bunddyr med normal aldersfordeling, artssammensætning og individantal.

Metoder og datagrundlag

Iltindholdet måles med iltsensor og ved Winkler-analyse af vandprøve efter retningslinjerne i de tekniske anvisninger til det nationale overvågningsprogram (Vang & Hansen 2015). Hvis forskellen mellem de to målemetoder er stor, korrigeres sensormålingerne i forhold til Winkler-målingerne. Gennemsnitlige iltkoncentrationer i bundvandet (nederste 2,5 m på stationer med vanddybde på min. 5 m) for iltsvindperioden (juli-november) er beregnet på baggrund af målinger på NOVA/NOVANA-stationer med et veldefineret springlag (densitetsforskel mellem overflade- og bundvand ($\Delta \sigma_T$) > 0,5 for fjord- og kyststationer, og $\Delta \sigma_T > 1$ for stationer i åbne indre farvande). Middelværdierne er korrigeret for forskelle mellem stationer, måneder og prøvetagningsdybder ved statistisk modellering. Stationerne er opdelt i fjorde og kystnære områder og i de åbne farvande.

Iltsvindets arealudbredelse er beregnet med en dybdemodel, som angiver iltsvindets udstrækning baseret på iltprofiler målt på en lang række stationer og dybdeforholdene i farvandene.

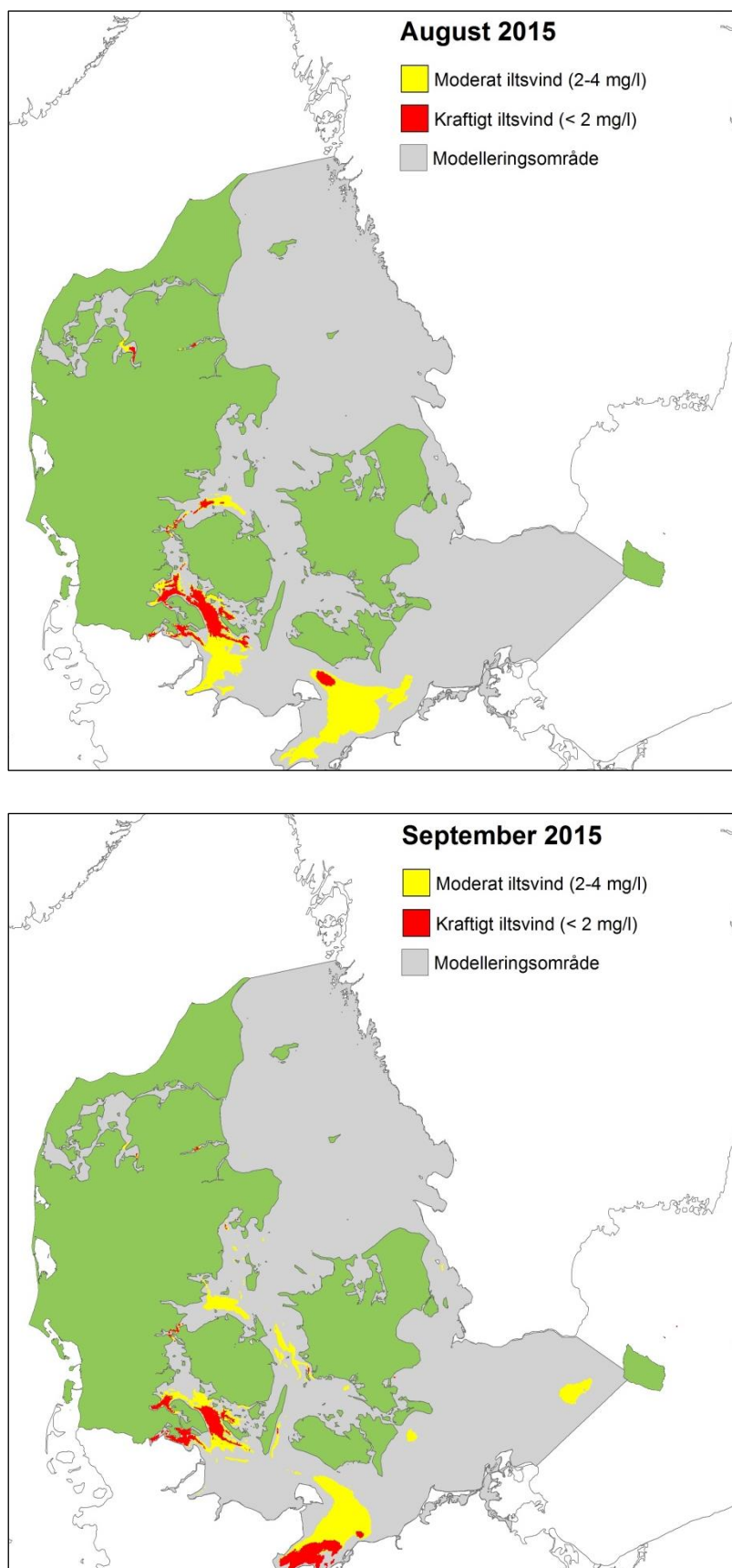
Året 2015

Sommeren i 2015 var relativ kølig og blæsende sammenlignet med den meget varme og generelt vindsvage sommer i 2014. Derfor var det lidt overraskende, at iltsvindet i mange områder var lige så slemt i 2015 som i 2014.

Bundvandstemperaturen var fra forårets start lidt over normalen (mod markant over normalen i 2014), hvilket var medvirkende til, at iltsvindet i 2015 startede forholdsvis tidligt i en del områder (*kapitel 2*). Den kølige sommer bevirkede dog, at vandtemperaturen hen over sommeren lå på niveau med normalen, og først i løbet af august igen lå over normalen. Gennem sommeren og efteråret lå middelvinden i 2015 lidt over niveauet for langtidsmidlen (1994-2014), hvor den i 2014 lå markant under langtidsmidlen. Kraftig blæst i midten af september og starten af oktober skabte omrøring af vandsøjlen, som forbedrede iltforholdene i en periode i de fleste områder, og kraftig blæst igen midt i november fjernede langt størstedelen af det resterende iltsvind. Generelt var der forholdsvis meget vind i hovedsæsonen for iltsvind (juli-september) (*kapitel 2*), men alligevel var der udbredt iltsvind i 2015. Det skyldes en række faktorer herunder det meget intensive, udbredte og langstrakte iltsvind i 2014, som har gjort farvandene mere sårbare for udvikling af iltsvind. Dette, kombineret med at bundvandstemperaturerne var over normalen fra starten af foråret, og nedbøren og dermed afstrømningen af næringsstoffer var stor i starten af året, har presset iltforholdene hen over sommer og efterår. Desuden gav sæsonvariationen i næringsstofkoncentrationerne kombineret med vindretningerne en indikation på, at de åbne indre farvande i april og maj blev tilført en vandmasse fra den centrale del af Nordsøen opblandet med vand fra Den Jyske Kyststrøm (*kapitel 2* og *5*). Denne vandmasse var beriget med især kvælstof og gav grundlag for en forlænget opblomstring af planteplankton og efterfølgende et øget iltforbrug ved bunden i forbindelse med den efterfølgende mineralisering af det sedimenterede planteplankton (*kapitel 6*). Endelig var vinden fra august til okto-

ber domineret af svage vinde fra øst, hvilket stabiliserede vandsøjlen, mindskede transporten af iltholdigt overfladevand til bundvandet i denne periode og dermed stimulerede udviklingen af iltsvind.

Figur 7.1. Kortene viser den modellerede udbredelse af iltsvind i hhv. medio august og medio september.



Iltsvindet i 2015 forekom hovedsageligt i de dybere områder i Lillebælt, Det Sydfynske Øhav samt Femern Bælt og Lübeck Bugt, mens iltsvindet i 2014 hovedsageligt var i fjorde og kystnære områder. De mere blæsende forhold i 2015 betød, at en del af de mere lavvandede områder, især Limfjorden, oplevede markant mindre iltsvind i 2015 end i 2014. I juli, august, september og oktober var flere områder hårdt ramt af iltsvind (*figur 7.1*, august og september). Nogle steder var der kraftigt iltsvind, iltfrit i bundvandet og frigivelse af giftig svovlbrinte fra havbunden. De klimatiske forhold i 2015 mindede om situationen i 2007 og 2009 (*kapitel 2*). I 2015 var udbredelsen af iltsvind også på niveau med udbredelsen i 2007 og 2009, hvilket tyder på, at den bufferkapacitet mod udvikling af iltsvind, dvs. iltning af havbunden, som tilsyneladende blev opbygget i 2010-2012, var opbrugt i 2015.

Til trods for, at iltsvindet var relativt udbredt i 2015, så blev der ikke registreret iltsvind i Vadehavet eller på de kystnære målestationer i Nordsøen/Vesterhavet og Nordsøen/Skagerrak ud for henholdsvis Ringkøbing/Esbjerg og Hirtshals. Der blev heller ikke registreret iltsvind i en række områder herunder fjordene Randers, Vejle, Kolding, Augustenborg og Roskilde Fjord samt Isefjord.

Iltsvindets omfang i Limfjorden var usædvanligt beskedent i 2015, hvilket hovedsageligt skyldes den relativt meget vind i løbet af sommeren. Der blev registreret iltsvind første gang i juni, men der var dog kun tale om enkeltstående og kortvarige hændelser. I juli var der kun yderst lidt iltsvind, mens stigende vandtemperatur og rolige vindforhold i starten af august bevirkede, at der opstod moderat og kraftigt iltsvind i en række områder af fjorden. Ustadigt vejr med en del blæst i slutningen af august og starten af september bedrede iltforholdene, indtil stille vejr efterfølgende fik iltsvindet til at brede sig igen. Den kraftige blæst midt i september bremsede dog iltsvindet i at udvikle sig yderligere. I oktober blev der kun målt iltsvind i Hjarbæk Fjord og Lovns Bredning, og i november blev der ikke registreret iltsvind i Limfjorden.

I det nordlige og centrale Kattegat blev der ikke registreret iltsvind i 2015. I Mariager Fjord blev der som normalt målt iltfrie forhold i den dybe centrale del af fjorden til og med iltsvindsrapporteringens afslutning i november – men en mindre del af vandsøjlen var berørt af iltsvind end i 2014. I den indre del af fjorden blev der modsat 2014 kun registreret iltsvind på den station, som ligger tættest på den centrale dybe station. Iltsvindet var varierende i intensitet og forsvandt kortvarigt i forbindelse med den kraftige blæst midt i september. Der blev ikke registreret iltsvind i Randers Fjord og kun kortvarigt moderat iltsvind i Hevring Bugt i starten af oktober.

Der blev først registreret iltsvind i Aarhus Bugt midt i september, og der blev konstateret kraftigt iltsvind og frigivelse af svovlbrinte i Knebel Vig ved årets første måling i starten af august. Iltsvindet bredte sig efterfølgende i Aarhus Bugt, lige som der opstod iltsvind i Kalø Vig. I løbet af oktober forbedredes iltforholdene, og midt i november var der ikke længere iltsvind i Aarhus Bugt. I Hjelm Dyb og Ebeltoft Vig blev der målt kortvarigt moderat iltsvind i midten af oktober. I Horsens Fjord blev der kun målt iltsvind i slutningen af september, mens der i As Vig lige uden for fjorden blev registreret moderat iltsvind i september, som forsvandt i forbindelse med den kraftige blæst i starten af oktober. I Vejle Fjord var iltforholdene gode i 2015 i overensstemmelse med, at iltsvind i fjorden er sjældne og som regel af meget lokal karakter. Der blev heller ikke registreret iltsvind i Kolding Fjord i 2015.

I det nordlige Bælthav blev der i 2015 lige som i 2014 registreret iltsvind allerede i juni, hvilket er usædvanlig tidligt for området. Iltsvindet intensiveredes i løbet af juli og især august, men aftog igen i september og forsvandt helt i forbindelse med kraftig blæst. Iltsvindet etableredes dog igen i løbet af oktober, men forsvandt formodentlig endeligt i løbet af november (ingen målinger i november).

I det sydlige Lillebælt blev der registreret iltsvind midt i juni, som udviklede sig til udbredt iltsvind i løbet af juli. Iltsvindet intensiveredes yderligere i august, hvor der blev målt kraftigt iltsvind i en stor del af området. Der var iltfrit på de største dybder i området, og der blev konstateret frigivelse af svovlbrinte fra havbunden i starten af september. Iltsvindets styrke og udbredelse blev fastholdt ind i oktober. Iltsvindet aftog i løbet af den sidste halvdel af oktober, og midt i november var iltsvindet reduceret væsentlig i både udbredelse og styrke, om end der fortsat var iltfrit på de største dybder.

I Aabenraa Fjord blev der i 2015 registreret moderat iltsvind i starten af juni, hvilket er tidligt for området, men dog senere end i 2014, hvor der blev målt iltsvind allerede i slutningen af maj. Iltsvindet udviklede sig hurtigt, og i juli var der kraftigt iltsvind, og midt i august blev der konstateret frigivelse af svovlbrinte. Iltsvindet forværredes yderligere sidst i august og i løbet af september, og først efter den meget vind i starten af oktober forbedredes forholdene. Ved den sidste måling midt i november var iltsvindet forsvundet fra den ydre del af fjorden, mens der fortsat var iltsvind (moderat) i den indre del af fjorden. Der var også udbredt iltsvind i Haderslev Fjord, Flensborg Fjord og Sønderborg Bugt, hvor der også blev registreret iltfrie forhold og frigivelse af svovlbrinte på de dybeste lokaliteter. Als Fjord blev ligeledes påvirket af iltsvind om end i lidt mindre omfang end i ovennævnte områder. I Augstenborg Fjord blev der som sædvanlig ikke registreret iltsvind.

I Det Sydfynske Øhav blev der målt kraftigt iltsvind allerede midt i juni, og der var iltfrit i den dybe vestlige del af Ærøbassinet. Sidst i juli opstod der også et kortvarigt iltsvind i Ringsgaarbassinet, og der blev også konstateret iltsvind i Faaborg Fjord, som varede helt til sidst i september. Iltsvindet i Det Sydfynske Øhav forværredes i løbet af august, hvor iltsvindet vendte tilbage i Ringsgaarbassinet med iltfrie forhold på de dybeste dele af området. Desuden blev der konstateret frigivelse af svovlbrinte fra havbunden i Ærøbassinet både i september og oktober. Forholdene i området forbedredes i løbet af oktober, og midt i november var der ikke længere iltsvind i Det Sydfynske Øhav.

Omkring Langeland blev der registreret moderat iltsvind i Langelandsbælt i september. Sidst i september udvikledes et kortvarigt moderat iltsvind i Langelandssund, og i Langelandsbæltet havde iltsvindet bredt sig. Midt i november var der ikke længere iltsvind i hverken Langelandsbælt eller Langelandssund.

I den sydlige del af Kattegat nord for Sjælland og farvandene rundt om Sjælland blev der i 2015 registreret iltsvind i en del forskellige områder dog af begrænset udbredelse og intensitet. Det sydlige Kattegat, Jammerland Bugt, Sejerø Bugt, Nivå Bugt og den centrale del af Smålandsfarvandet blev eksponeret for moderat iltsvind, mens der blev konstateret et kortvarigt kraftigt iltsvind i Faxe Bugt. I Roskilde Fjord og Isefjord blev der ikke registreret iltsvind i 2015, mens der kortvarigt blev konstateret moderat iltsvind i Sto-

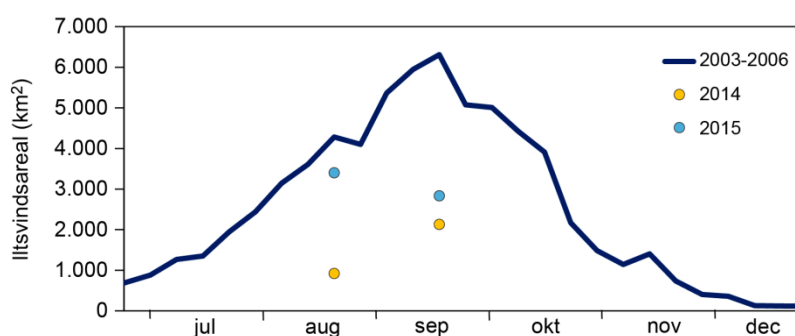
rebælt i starten af oktober, efter at iltindholdet havde ligget tæt på grænsen til iltsvind i september.

Der blev ikke konstateret iltsvind i farvandet umiddelbart syd for Lolland og Falster i 2015, men der opstod et iltsvindsområde syd for Møn i oktober med kraftigt iltsvind i den centrale dybe del af området. Der udviklede sig også et ret markant iltsvind i Femern Bælt og Lübeck Bugt i juli, som intensiveredes med kraftigt iltsvind til følge i den dybeste del af Femern Bælt i august. I september udviklede iltsvindet sig yderligere i Lübeck Bugt, hvor den sydligste del blev ramt af kraftigt iltsvind. I den sydlige del af Lübeck Bugt var der fortsat udbredt kraftigt iltsvind midt i november, mens iltsvindet i Femern Bælt og syd for Møn var ophørt.

Der blev registreret iltsvind både vest og øst for Bornholm i 2015. Bornholmerdybet øst for Bornholm er kendetegnet ved næsten permanent iltsvind, som kun forsvinder for en kortere periode i forbindelse med kraftige indstrømninger af tungere iltholdigt vand fra Kattegat. Iltsvindet vest for Bornholm opstår typisk, når vand tilføres fra Kattegat og danner et tyndt og forholdsvis stillestående lag af mere salt og dermed tungere bundvand.

Iltsvind forekommer hovedsageligt fra juli til og med november og toppe inden for denne periode typisk i september. Den modellerede arealudbredelse af iltsvind i de indre farvande i første halvdel af september 2015 var markant mindre end middelværdien for 2003-2006, lidt mindre end i første halvdel af august 2015 og på niveau med udbredelsen i første halvdel af september 2014 (figur 7.2).

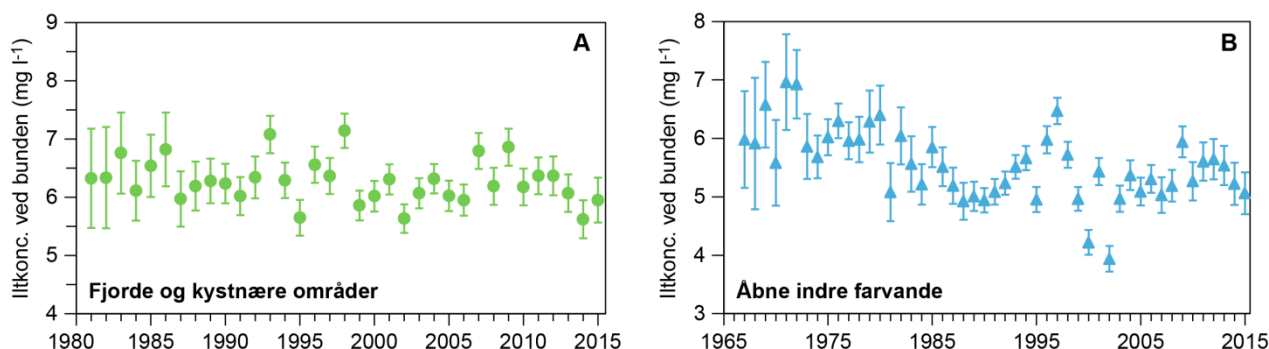
Figur 7.2. Årstidsvariationen af areal ramt af iltsvind ($< 4 \text{ mg l}^{-1}$) som middel for 2003-2006 (uge for uge i sidste halvdel af året) samt for 2014 og 2015 (første halvdel af august og september).



Langtidsudviklingen i iltforhold

I perioderne med lagdeling af vandsøjlen (springlag) var den gennemsnitlige iltkoncentration ved bunden i iltsvindssæsonen i 2015 i de åbne indre farvande og i fjorde og kystnære områder lave i forhold til niveauet i de fleste af de senere år (figur 7.3). Niveauet var også lavt i 2014 pga. det udbredte iltsvind i 2014, især i fjorde og kystnære områder. Det udbredte og langstrakte iltsvind i 2014 har formodentlig betydet, at opbygningen af sedimentets bufferkapacitet mod udvikling af iltsvind, dvs. iltning af havbunden, ikke er sket i samme grad som fx i perioden 2010-2013, hvilket har medført et øget iltforbrug i bunden hen over året i 2015 og dermed en lavere iltkoncentration i bundvandet. Iltkoncentrationen i fjorde og kystnære områder har sammenlignet med de åbne indre farvande varieret inden for et forholdsvis snævert interval, og den gennemsnitlige koncentration i 2015 er blandt de laveste ($< 6 \text{ mg l}^{-1}$) siden starten af 1980'erne. I de åbne indre farvande har iltkoncentrationen været relativt stabil siden 2003, dog med en svag tendens til en stigning, som dog blev brudt af de lave værdier i 2014 og 2015. I den forudgående

årrække har der både været perioder med fald (1980-1988 og 1998-2002) og stigning (1990-1997, 2002-2009), uden at der er nogen entydig forklaring på disse svingninger.



Figur 7.3. Gennemsnitlig iltkoncentration i bundvandet i A) fjorde og kystnære områder og B) åbne indre farvande for juli-november i perioder med lagdeling (middel $\pm$ 95 % konfidensgrænser). Bemærk at tidsperioden ikke er den samme på begge figurer.

Der er store regionale forskelle i udviklingen i iltkoncentrationen. Langtidsudviklingen i iltkoncentrationen i bundvandet i den typiske iltsvindsperiode fra juli til og med november viste generelt en faldende tendens i alle danske farvandsområder på nær langs den jyske vestkyst og i de sjællandske fjorde og Smålandsfarvandet (tabel 7.1). I godt halvdelen af områderne var ændringen statistisk signifikant, og i disse områder var iltforholdene forringet med 0,015-0,056 mg O₂ l⁻¹ år⁻¹ undtagen i de sjællandske fjorde og Smålandsfarvandet, hvor iltforholdene var forbedret med 0,041 mg O₂ l⁻¹ år⁻¹. Langtidsudviklingen i iltkoncentrationerne er hovedsageligt resultatet af forøget tilførsel af næringsstoffer (eutrofiering) og efterfølgende en forsinket respons på reduceret tilførsel af næringsstoffer (oligotrofiering). Desuden er havtemperaturen steget ca. 1-1,5 °C de sidste 30-40 år (kapitel 2), hvilket mindsker opløseligheden af ilt og øger risikoen for iltsvind. I samme periode er hyppigheden af lagdeling af vandsøjlen taget til, hvilket har mindsket tilførslen af ilt fra overfladevandet til bundvandet (Riemann m.fl. 2016).

Tabel 7.1. Lineære langtids-trendanalyser af udviklingen i middelkoncentrationen af ilt i bundvandet opdelt på områder. Statistiske signifikante trends ($P < 0,05$) er markeret med gråtone (lys grå = stigning, mørk grå = fald).

Område	Antal år	Antal stationer	Periode	P-værdi	Udvikling (mg l ⁻¹ år ⁻¹)
Vestjyske fjord- og kyststationer	24	4	1989-2015	0,3673	0,013
Limfjorden	36	9	1980-2015	0,0941	-0,023
Østjyske fjorde	43	11	1972-2015	0,6248	-0,003
Fynske fjorde og Det Sydfynske Øhav	38	3	1977-2015	0,0144	-0,026
Sjællandske fjorde og Smålandsfarvandet	30	12	1985-2015	0,0118	0,041
Kattegat	50	18	1966-2015	0,0968	-0,009
Nordlige Bælthav og Storebælt	44	9	1970-2015	0,0234	-0,022
Lillebælt og Femern Bælt	50	6	1965-2015	0,0088	-0,026
Øresund	49	4	1967-2015	0,0373	-0,015
Østersøen	48	9	1966-2015	< 0,0001	-0,056

Med henblik på at vurdere om tiltagene til begrænsning af tilførslen med næringsstoffer har haft en effekt på iltforholdene, er det bedre at fokusere på udviklingen de senere år end hele overvågningsperioden. I de seneste 10 år er der trods de dårlige iltforhold i 2014 og 2015 sket en positiv udvikling for iltforholdene i bundvandet i halvdelen af farvandsområderne (tabel 7.2). Denne udvikling er dog kun statistisk signifikant for Kattegat. De områder, som

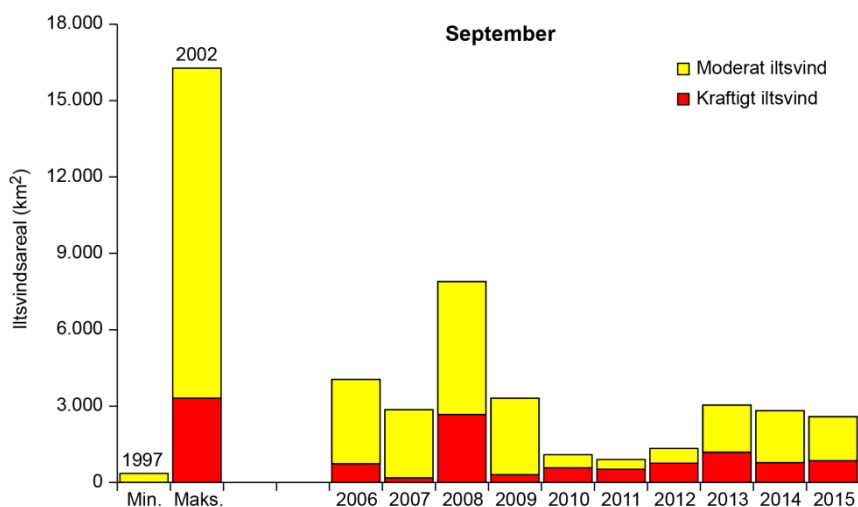
har haft en negativ udvikling de seneste 10 år, er de kendte 'problemområder' i form af fjorde og kystnære områder, mens fremgangen hovedsageligt er sket i de mere åbne farvande. Der er således en klar tendens til, at den positive udvikling for iltforholdene i bundvandet som følge af den reducerede eutrofiering er mest markant i de mere åbne vandområder, hvor den potentielle næringsstofbegrænsning er størst (kapitel 5). Til gengæld går det noget langsommere med at få vendt udviklingen i fjorde og de mere lukkede af de kystnære farvande.

Tabel 7.2. Lineære 10-års-trendanalyser af udviklingen i middelkoncentrationen af ilt i bundvandet delt op på områder. Statistiske signifikante trends ($P < 0,05$) er markeret med gråtone (lys grå = stigning). Ændringen i udviklingen i forhold til langtidstrenden (tabel 7.1) er angivet med $\leftrightarrow$ (uændret), $\uparrow$ (forbedret), $\downarrow$ (forringet).

Område	Antal stationer	P-værdi	Udvikling ($\text{mg l}^{-1} \text{år}^{-1}$)	Ændring ift. langtidstrend
Vestjyske fjord- og kyststationer	4	0,1651	0,089	$\uparrow$
Limfjorden	8	0,6206	-0,057	$\downarrow$
Østjyske fjorde	9	0,1727	-0,058	$\downarrow$
Fynske fjorde og Det Sydfynske Øhav	3	0,0628	-0,135	$\downarrow$
Sjællandske fjorde og Smålandsfarvandet	11	0,2051	0,144	$\uparrow$
Kattegat	18	0,0079	0,055	$\uparrow$
Nordlige Bælthav og Storebælt	7	0,5298	-0,051	$\downarrow$
Lillebælt og Femern Bælt	6	0,0538	-0,193	$\downarrow$
Øresund	4	0,1403	0,069	$\uparrow$
Østersøen	8	0,9943	0,000	$\uparrow$

Iltsvind har en række uheldige konsekvenser for økosystemet, og det er derfor vigtigt at følge udviklingen af iltsvind. Der har været meget store udsving mellem årene i det areal af havbunden, som er blevet berørt af iltsvind (figur 7.4). Den hidtil største udbredelse af iltsvind blev registreret i 2002 og opstod som følge af en uheldig kombination af en stor tilførsel af næringsstoffer, forholdsvis lidt vind og relativ høj bundvandstemperatur. Den hidtil mindste udbredelse af iltsvind blev registreret i 1997, som var det andet år i træk med en usædvanlig lav tilførsel af næringsstoffer. I 2015 var iltsvindsudbredelsen markant forøget i forhold til det relativt lave niveau i 2010-2012, men på niveau med udbredelsen i 2013 og 2014. En tredjedel af iltsvindsarealet var påvirket af kraftigt iltsvind ($< 2 \text{ mg l}^{-1}$), hvilket er mindre end for 2010-2013 men på niveau med andelen i 2014.

Figur 7.4. Udviklingen i arealet af moderat iltsvind ($2-4 \text{ mg l}^{-1}$) og kraftigt iltsvind ($< 2 \text{ mg l}^{-1}$) i september i de indre farvande for perioden 2006-2015 samt den største og mindste registrerede arealudbredelse i overvågningsperioden 1989-2015. Til sammenligning har Fyn et areal på ca. 3.000 km^2 og Sjælland et areal på ca. 7.000 km^2 .



Iltsvindets udbredelse var meget begrænset i 2010-2012, og havbunden har derfor haft mulighed for at opbygge en robusthed i forhold til at modstå udvikling af iltsvind. Denne kapacitet opbygges i perioder med mindre iltsvind ved, at de kemiske og biologiske forhold, som modvirker iltsvind, styrkes. Men 2010-2012 var også kendetegnet ved periodisk relativt meget vind i den typiske iltsvindsperiode. Desuden var der alle tre år (ligesom i 2013) i første kvartal forholdsvis lave temperaturer, som betød et større iltindhold i vandet. Desuden har de senere års lave koncentrationer af næringsstoffer (*kapitel 5*) bidraget til en mindre forekomst af planteplankton (*kapitel 6*) og dermed forventeligt til et mindre iltforbrug ved bunden til omsætning af sedimenteret organisk materiale. Men den markant større udbredelse af iltsvind i 2013, 2014 og 2015 har vist, at havbunden endnu ikke er mere robust, end at iltsvind kan brede sig over større områder, hvis de vejrsmæssige forhold stimulerer udvikling af iltsvindet. Vejret (vind, indstråling, afstrømning og temperatur) i 2015 mindede meget om forholdene i 2007 og 2009 (*kapitel 2*), og udbredelse af iltsvind i 2015 var også på niveau med udbredelsen i 2007 og 2009. Dette indikerer, at den opbygning af havbundens bufferkapacitet mod iltsvind, som tilsyneladende skete i perioden 2010-2012, for størstedelens vedkommende er mistet igen.

Sammenfatning

- Iltsvindet udviklede sig markant igen i 2015 i en række områder til trods for en relativ kølig og blæsende sommer. Iltsvindet i 2015 var desuden kendetegnet ved at starte forholdsvis tidligt og slutte relativt sent i de hårdest ramte områder.
- De mere blæsende forhold i 2015 betød, at en del af de mere lavvandede områder, især Limfjorden, oplevede markant mindre iltsvind i 2015 end i 2014.
- Det udbredte iltsvind i 2015 trods relativt meget vind skyldes formodentlig delvist det meget intensive, udbredte og langstrakte iltsvind i 2014, som har gjort farvandet mere sårbare for udvikling af iltsvind.
- De tidligst registrerede iltsvind uden for de permanente iltsvindsområder var i starten af juni (Aabenraa Fjord og Flensborg Fjord), men der blev også målt iltsvind i en del områder senere i juni (Limfjorden, nordlige Bælthav, Lillebælt, Haderslev Fjord og Det Sydfynske Øhav). Der var fortsat iltsvind enkelte steder ved iltsvindsrapporteringens afslutning midt i november.
- Det totale iltsvindsareal i september 2015 var på niveau med 2013 og 2014. En tredjedel af iltsvindsarealet var påvirket af kraftigt iltsvind.
- Særlig berørte områder, hvad angår varighed og intensitet af iltsvind, var Lillebælt og tilstødende østjyske fjorde, Det Sydfynske Øhav, Femern Bælt og Lübeck Bugt. I disse områder blev der registreret frigivelse af svovlbrinte fra havbunden.
- Iltindholdet i bundvandet i fjorde og kystnære områder har varieret inden for et forholdsvis snævert interval og var i 2015 blandt de lavest registrerede siden starten af 1980'erne.
- Iltindholdet i bundvandet i de åbne indre farvande har varieret men overordnet været faldende siden midten af 1960'erne. Den svage tendens til en positiv udvikling siden 2003 blev brudt med de relativt lave værdier i 2014 og 2015.

8 Bundplanter - makroalger på stenrev

Karsten Dahl, Jacob Carstensen, Steffen Lundsteen, Annette Bruhn & Dorte Krause-Jensen

Skove og buskadser af tang (makroalger) samt enge af ålegræs og andre blomsterplanter vokser langs vores kyster. Disse plantesamfund er meget produktive og fungerer som levested og opvækstområde for en lang række organismer. Planterne fungerer samtidig som et naturligt kystværn, fordi bladene dæmper bølgerne, og havgræssernes net af stængler og rødder i sedimentet stabiliserer havbunden. Desuden virker

planterne som partikelfilter og bidrager dermed til at holde vandet klart samtidig med, at de lagrer kulstof og tilbageholder næringsstoffer. Disse mange nyttige funktioner gør, at havets enge og skove hører til blandt verdens mest værdifulde økosystemer (*Costanza m.fl. 1997; Barbier m.fl. 2011*). Men ålegræs og verdens øvrige havgræsser er stærkt truede og forsvinder i øjeblikket med samme hastighed som de tropiske regnskove (*Waycott m.fl. 2009*). Skove af flerårige tangplanter er ligeledes på tilbagetog flere steder i Europa (*Araújo m.fl. 2016*).



Blæretang (*Fucus vesiculosus*) er en flerårig brunalge, der skaber habitat for andre marine organismer på lavere vand. Blæretang findes i alle danske farvande. Foto: Peter Bondo Christensen.

Makroalgeskovene på den hårde bund består primært af rød- og brunalger, der kan vokse i flere lag på vanddybder med rigeligt lys. I kystnære områder med ringe sigtdybde aftager den samlede algedækning hurtigt mod dybere vand, mens man på stenrev i åbne farvande med bedre lysforhold kan observere flerlaget vegetation ned til 10-12 m's dybde. Med stigende dybde aftager den oprette algevegetations dækning på stenene, mens man på større dybder fortsat kan finde skorpeformede alger, selv hvor lyset er aftaget til under 1 % af indstrålingen ved overfladen.

Både makroalger og ålegræs er væsentlige indikatorer for det kystnære havmiljøes økologiske kvalitet i henhold til EU's vandrammedirektiv. Makroalger og i nogle tilfælde ålegræs benyttes også i vurderingen af tilstanden i habitatdirektivets marine naturtyper, såsom 'stenrev', 'boblerev', 'sandbanker' og 'lavvandede bugter og vige'. Bundplanterne anvendes som indikator, da de afspejler kvaliteten af en række naturtypers struktur og funktion integreret over et længere tidsrum (*Krause-Jensen m.fl. 2005; Dahl & Carstensen 2008; Carstensen m.fl. 2014; Queirós m.fl. 2016*).

Et fald i tilførslen af næringsstoffer til havmiljøet forventes at føre til en reduktion i mængden af planteplankton i vandsøjlen og dermed mere lys ved bunden. Herved vil ålegræs og makroalger få bedre vækstforhold og bedre mulighed for at brede sig ud på dybere vand. Et større plantedække nedsætter risikoen for, at havbunden hvirvles op og har dermed en selvforstærkende positiv effekt på lysforholdene. En reduceret tilførsel af næringsstoffer resul-

terer derudover oftest i færre opportunistiske énårige makroalger især i mere påvirkede kystområder og dermed igen i bedre lysforhold for den flerårige bentiske vegetation. Endelig fører en reduktion i næringsstoffer til færre og mindre alvorlige iltsvind og dermed bedre vækstforhold for bundplanterne.

Fysiske forstyrrelser af havbunden og biologiske interaktioner, som fx søpindsvins græsning, kan også have en markant effekt på bundplanternes udbredelse lokalt og regionalt. Masseforekomst af det grønne søpindsvin (*Strongylocentrotus droebachiensis*) og nedgræsning af bundplanter er observeret andre steder i verden i forbindelse med reduceret prædation på søpindsvin fra havoddere og hummere (Little & Kitching 1996) samt fisk (Tegner & Dayton 2000). Det grønne søpindsvins udbredelse er dog begrænset til områder med en saltholdighed større end 22-24 promille. Fysisk påvirkning af havbunden – fx i form af trawlfiskeri og hyppige skibspassager – er også sandsynlige årsager til reduceret udbredelse af makroalger på visse lokaliteter (Dahl 2005; Dahl m.fl. 2011).

I dette kapitel analyseres tilstanden og udviklingen i makroalgernes dækning på stenrev i åbne farvande for perioden 1990-2015. Analyserne omfatter kun fasthæftede oprette makroalger med fokus på makroalgernes totale og kumulerede dækningsgrad. Kapitlet afsluttes med en beskrivelse af natur- og miljøtilstanden på udvalgte stenrev i Natura 2000-områder i Kattegat.

Tilstand og udvikling for ålegræs og kystnære makroalger er ikke omtalt i dette års rapport pga. en række problemstillinger tilknyttet omlægning af database.

Metoder og datagrundlag

Udviklingen i makroalgernes tilstand på stenrev i åbne farvande er analyseret ved hjælp af to indikatorer: 1) De oprette makroalgernes 'totale dækning' på den stabile hårde bund, som kan antage værdier i intervallet 0-100 % og 2) de oprette makroalgernes 'kumulerede dækning' – dvs. summen af de enkelte arters dækning på den stabile hårde bund, som kan antage værdier, der er betydeligt større end 100 %, eftersom algerne kan vokse i etager oven på hinanden.

Data

Analyserne bygger på makroalgedata indsamlet som del af det nationale program for overvågning af vandmiljøet og naturen (NOVANA) i perioden 1989-2015. Data er indsamlet efter retningslinjerne i de tekniske anvisninger for NOVANA for det marine miljø (Høgslund m.fl. 2014; Lundsteen & Dahl 2016).

Den totale dækning og dækningen af de enkelte arter vurderes af dykkere og omfatter al opret makroalgevegetation. Den kumulative dækning beregnes ved summering af de enkelte arters dækning.

I analyser af udviklingstendensen er udeladt data fra programmets første år (1989), hvor dækningsgraden var påfaldende lav, hvilket kunne tyde på, at undersøgelserne på daværende tidspunkt ikke helt var indarbejdet. Der er desuden sket en metodeændring, da den artsspecifikke dækningsgrad til og med 1993 på stenrev i åbne farvande blev angivet i en grovere skala inddelt i fem niveauer og ikke direkte i procent. Denne skala giver højere beregnede kumulative dækninger end ved den direkte procentopgørelse, hvorfor data til og med 1993 er udeladt af trendanalyserne.

Modellering af dækningsgrader til trendanalyse

I trendanalyserne præsenteres data som årsmidler baseret på alle undersøgte rev og dybder. Dækningsgraderne er modelleret for en fast dybde baseret på overvågningsdata langs den del af dybdegradienten, hvor algerne er lysbe-grænsede (modelleringen er foretaget på samme måde som i *Carstensen m.fl. 2008*). Der er altså tale om et slags avanceret gennemsnit af de vurderede dækningsgrader ekstrapoleret til en fast dybde via en modelberegning. I analysen indgår data fra rev i Skagerrak, Kattegat, Bælthavet og den vestlige Østersø.

Det har ingen betydning for forløbet af udviklingstendenserne for dæk-ningsgraderne, hvilken dybde der benyttes. Den totale dækning reagerer mere trægt på ændringer i lysforhold end den kumulerede dækning. Udviklings-tendenserne i den totale dækning fremgår således tydeligere, når de illustre-res for lidt dybere vand, hvor effekten af en ændring i lysforholdene er større.

Alle udviklingstendenser er analyseret ved lineær regressionsanalyse af års-midlerne for perioden 1990-2015 for den totale dækningsgrad og for perio-den 1994-2015 for den kumulerede dækningsgrad (JMP 10.0, SAS Inc.). P-værdier < 0,05 betragtes som signifikante.

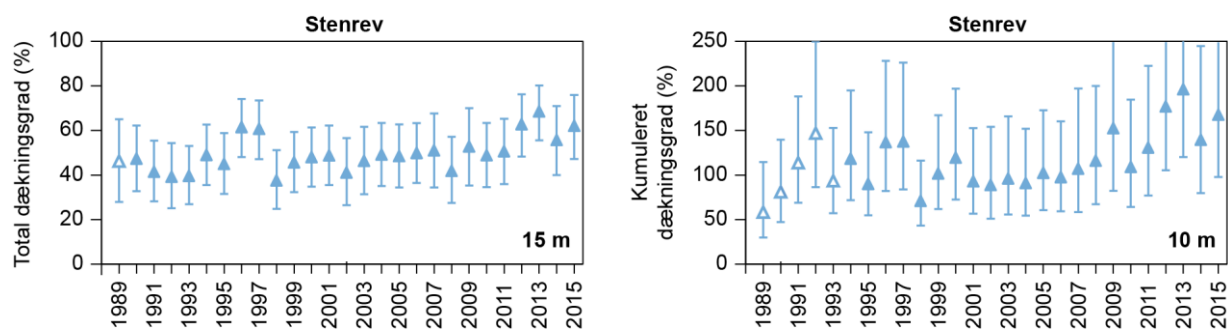
Tidlig udvikling i udbredelsen af makroalger på stenrev i åbne farvande

Den totale dækning af oprette alger har vist sig at være en robust indikator for vandkvaliteten på vanddybder, hvor vegetationen ikke fuldt ud dækker stenenes overflader, mens den kumulative dækning af oprette alger kan an-vendes i et større dybdeinterval (*Dahl & Carstensen 2008*).

Den totale algedækning på stenrev (modelleret for 15 m's dybde) varierede betydeligt mellem årene fra 38 til 69 %, og det samme gjaldt for den kumula-tive dækning, der varierede mellem 71 og 196 % (*figur 8.1*).

Der var en signifikant positiv udviklingstendens i den totale dækningsgrad på stenrev gennem perioden 1990-2015, hvor dækningen steg 33 %. Der var ligeledes en signifikant positiv udvikling i algernes kumulerede dæknings-grad på stenrevene med en stigning på 66 % fra 1994 til 2015.

Den totale og kumulative dækning af alger var god i 2015 og blandt de bedre observationer for perioden siden 1990 henholdsvis 1994.



Figur 8.1. Makroalgernes totale dækningsgrad (venstre kolonne) og kumuleret dækningsgrad (højre kolonne) i perioden 1989-2015 for stenrev.(middel $\pm$ 95 % konfidensgrænser). 1989 (total og kumulativ) og 1990-1993 (kumulativ) er udeladt af trendanalyserne (åbne symboler) – nærmere forklaring ovenfor under 'Metoder og datagrundlag'.

Makroalgers tilstand på udvalgte rev i Natura 2000-områder i Kattegat

Der er udviklet modeller for en række stenrev i Kattegat, der beskriver algedækningens totale og kumulative dækning som funktion af dybde, solindstråling, søpindsvins dækning (græsningstryk) og samlet tilførsel af kvælstof til Kattegatområdet (*Dahl & Carstensen 2008*). Modelbeskrivelserne af de to makroalgeindikatorer på fem udvalgte stenrev i Natura 2000-områder i Kattegat forklarer mere end 80 % af variationen for både den totale og den kumulerede algedækning på de udvalgte stenrev ($r^2 > 0,80$, $P < 0,0001$), og der var en negativ sammenhæng mellem kvælstof og algernes udbredelse.

Modellen kan bruges til at estimere den algedækning, der repræsenterer grænsen mellem fx gunstig og ikke gunstig bevaringsstatus for stenrev, hvor der ikke er data til rådighed for en sådan vurdering. Modellerne giver mulighed for at beregne algedække i relation til kvælstoftilførsel og lysindstråling for de enkelte stenrev. Det er således muligt at modellere algernes dybdeudbredelse i scenarier, hvor kvælstoftilførslen er ændret, mens klimatiske forhold og græsningstryk er konstant.

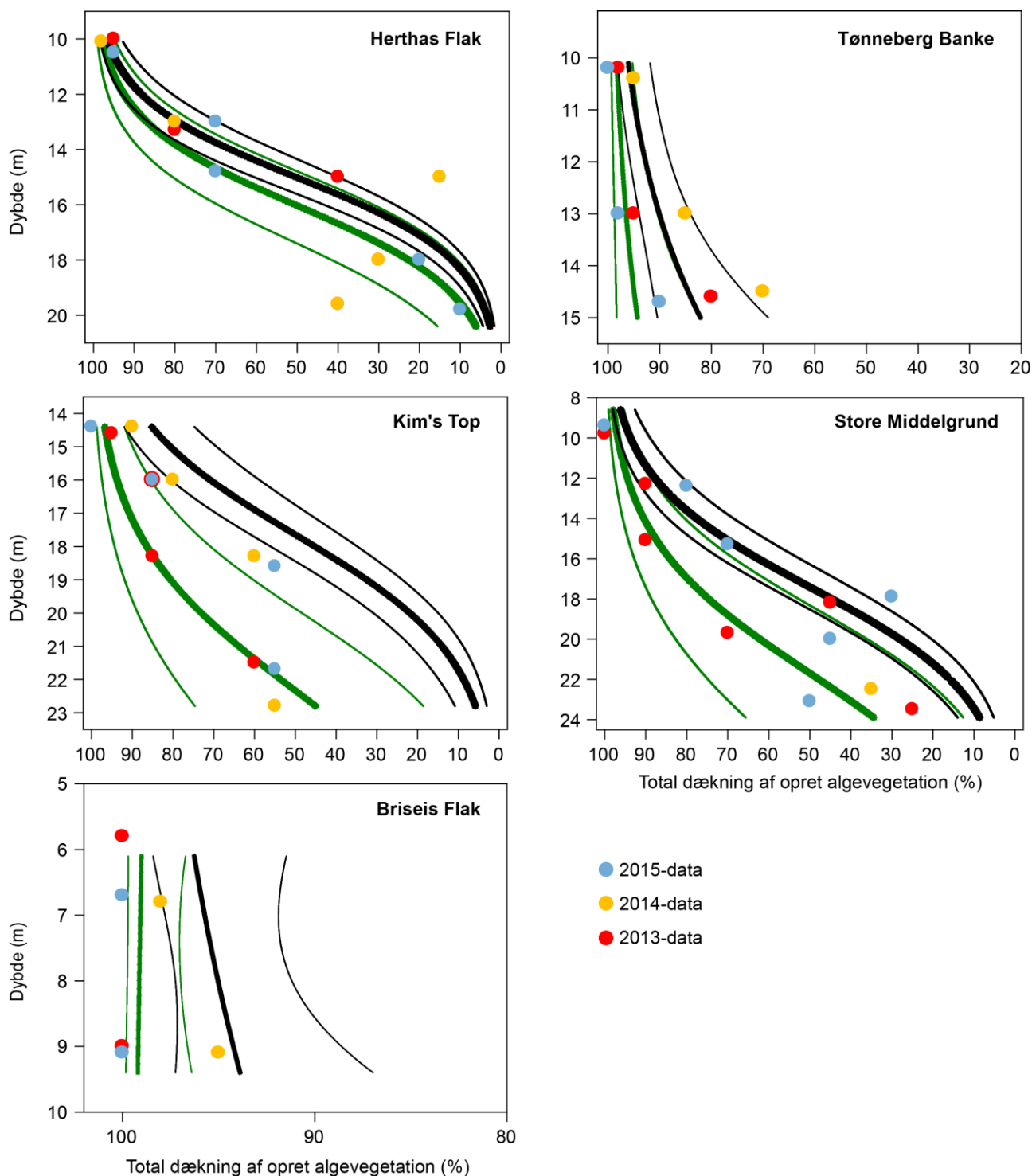
Algevegetationens dækning langs dybdegrader på fem stenrev i Kattegat blev modelleret for to scenarier for kvælstoftilførsel (*figur 8.2*). Det ene scenarium repræsenterer den gennemsnitlige tilførsel af kvælstof til Kattegat i forårshalvåret for perioden 1994-2006 (se nærmere beskrivelse i figurtekst). Det andet repræsenterer en tilstand med stærkt reduceret kvælstoftilførsel i forårshalvåret (*Dahl & Carstensen 2008*). Det ses tydeligt, at en reduktion af kvælstoftilførslen har en gunstig effekt på den totale dækning af opret algevegetation på stenrev og tillige øger algernes dybdeudbredelse.

Dækningsgraderne af algevegetationen på de fem udvalgte stenrev var generelt høje, og algernes dybdeudbredelse var god både i 2013, 2014 og 2015, i flere tilfælde på niveau med de modellerede udbredelser ved en stærkt reduceret kvælstoftilførsel svarende til referencelignede forhold (*figur 8.2*).

På Store Middelgrund, hvor fysiske forstyrrelser prægede algevegetationen og bundfaunaen på 15 og 18 m's dybde i 90'erne og 00'erne, var algedækket stort set reetableret i 2015 (*figur 8.2*).

Diskussion af makroalgernes udvikling

Den positive udvikling i makroalgernes dækningsgrad på stenrevne skyldes formodentlig en forbedret vandkvalitet (*Dahl & Carstensen 2008*). En tilsvarende positiv udvikling for makroalger i kystvandende er dokumenteret i *Riemann m.fl. 2016* for perioden 1990 til 2013. De mindskede næringsstofkoncentrationer i vandet reducerer væksten af planteplankton og bidrager til klarere vand. Det stimulerer makroalgernes vækst og mulighed for at etablere sig i dybere områder. Samtidig har de reducerede næringsstofkoncentrationer formentlig begrænset mængden af énårige epifytter på de flerårige alger og dermed yderligere bidraget til bedre vækstforhold. Analyser af fordelingen mellem opportunist og flerårige alger i de danske kystområder viste en signifikant sammenhæng med kvælstof, således at andelen af opportunisterne steg ved høje næringsstofkoncentrationer. Effekten var mest udtalt ved lavere saltholdigheder (*Carstensen m.fl. 2014b*).



Figur 8.2. Aktuelle samlede (totale) dækningsgrader af den samlede oprette algevegetation på undersøgelsesstationer på fem rev i Kattegat for 2013-2015 (farvede prikker). Desuden er vist modellerede dækninger (uden korrektion for variation i indstråling i forårshalvåret) for to scenarier med forskellig kvælstoftilførsel. Det første scenarie (sorte linjer) angiver den gennemsnitlige modellerede algedækning med tilhørende 95 % konfidensgrænser ved 48.000 tons total kvælstof (TN) svarende til den gennemsnitlige TN-tilførsel for forårshalvåret i perioden 1994-2006. Det andet scenarium (grønne linjer) svarer til en reference-lignende situation med en tilførsel på 10.000 tons TN i forårshalvåret. Begge scenarier er baseret på en antaget græsning af søpindsvin svarende til 0,1 % dækning og en solindstråling fra maj til juli svarende til gennemsnittet for perioden 1994-2006.

Sammenfatning

- Set over overvågningsperioden fra begyndelsen af 1990'erne har der været en signifikant positiv udviklingstendens i både makroalgernes gennemsnitlige totale og kumulerede dækningsgrad på stenrev i de åbne farvande.
- Den totale algedækning på de undersøgte fem stenrev i Natura 2000-områder i Kattegat var generelt god i 2015 og stort set på niveau med dækningsgraderne i 2013 og 2014 på trods af, at data for sigtbarhed ikke indikerer, at forholdene har været gode i foråret 2015.
- De biologiske forhold på undersøgelsesstationerne på stenrevet Store Middelgrund har tidligere været påvirket af fysiske forstyrrelser, men er nu stort set reetableret.

9 Bundfauna

Jørgen L. S. Hansen, Alf B. Josefson, Steffen Lundsteen, Ole G. Norden Andersen & Karsten Dahl

Havbunden i de danske farvande består af hård bund og forskellige sedimenttyper varierende fra ler over blødt mudder til groft sand. Til disse bundtyper er der knyttet artsrige dyresamfund, som udgør en meget vigtig del af havets økosystem og er fødegrundlaget for en stor del af de bundlevende fisk. Bundfaunaen spiller ligeledes en vigtig rolle for processerne i vandsøjlen og i havbunden, idet bundfaunaen omsætter en stor del af havets primærproduktion (planteproduktion). De bunddyr (filtratorer), som lever af at filtrere vandet, kan på lavt vand forekomme i så stor tæthed og biomasse, at de er i stand til at regulere planteplanktonet i hele vandsøjlen, hvis den ikke er lagdelt.



Stribet tallerkenmusling (*Fabulina fabula*, Gmelin).
Foto: Steffen Lundsteen.

På større vanddybder, hvor der ikke er planteproduktion, udgør det organiske materiale, der sedimenterer ud af vandsøjlen til havbunden, grundlaget for bundens fødekæde. Det omsættes af sedimenttædere, enten på sedimentoverfladen eller når det senere bliver nedblandet i sedimentet. Dermed er bundfaunaen et meget vigtigt bindeled mellem planteproduktionen i de frie vandmasser, omsætningen på havbunden og de højere led i fødekæden, især fugle og bundlevende fisk, som lever af bunddyr. Herudover er nogle arter af bløddyr og krebsdyr, som fx muslinger og jomfruhummer, kommercielt vigtige for erhvervsfiskeriet.

De enkelte arter af bunddyr repræsenterer vidt forskellige livsformer og tilpasninger, og på baggrund af deres ernæring kan de opdeles i forskellige grupperinger. Ud over filtratorer og sedimenttædere, beskrevet ovenfor, er der græssere og rovdyr. Græsserne findes typisk på lavere vand med planteproduktion på bunden, som de græsser direkte på. For hele bundfaunasamfundet gælder, at jo mere organisk materiale, der er til rådighed enten som suspenderet stof i vandsøjlen eller deponeret på og i sedimentet, jo højere biomasse kan bundfaunasamfundet opnå. Dermed kan eutrofiering (forøget tilførsel af næringsstoffer og dermed organisk materiale) øge biomassen af bundfaunaen. Tilførslen af meget organisk materiale til bunden stimulerer dog samtidig iltforbruget i bundvandet og dermed risikoen for iltsvind, som kan skade bundfaunaen og i værste fald udslette hele bunddyrssamfund. Effekten af eutrofiering varierer fra sted til sted, men risikoen, for at bundfaunaen rammes af iltsvind, er størst i de områder, hvor ventilationen af bundvandet er ringe og rammer derfor især dybe områder med en lagdelt vandmasse. I visse områder i de danske farvande er iltsvind et tilbagevendende problem, som nogle år skader bundfaunaen i store områder. Eutrofiering, miljøfarlige stoffer og fysisk forstyrrelse af havbunden påvirker bundfaunaens sammensætning og diversitet, og derfor kan bundfaunaen bruges til at vurdere graden af påvirkning og den generelle miljøkvalitet.

Det dyresamfund, der lever på sedimentbunden (blødbundsfauna eller infauna), har en artssammensætning, der adskiller sig fra de dyresamfund, som findes på steder med hård bund som fx stenrev (hårdbundsfauna eller epifauna). I dette kapitel beskrives resultater af den nationale overvågning af blødbundsfaunaen. Der er en lang tradition i Danmark for at undersøge dyrelivet på disse bundtyper. Således blev en række af de stationer, der indgår i det nuværende overvågningsprogram, indsamlet første gang i 1911, dvs. for godt 100 år siden, af C. G. J. Petersen i forbindelse med hans kortlægning af bundfaunaen i de indre danske farvande. Formålet var dengang at vurdere fødegrundlaget for fiskebestandene. Overvågningen af bundfaunaen i nyere tid er for en stor del sket på kystnære stationer omfattet af vandrammedirektivet og stationer på mere åbent vand omfattet af internationale konventioner (især HELCOM) og senest havstrategidirektivet. Fra 2012 er overvågningen af den danske blødbundsfauna udvidet med prøvetagning i naturtyper, der omfattes af habitatdirektivet.

Metoder og datagrundlag

I overensstemmelse med programbeskrivelsen for den nationale overvågning, blev der i 2015 taget bundprøver på de 22 HELCOM-stationer i de åbne farvande, hvoraf 21 har tidsserier, der går tilbage til 1994. Det er de stationer, der plejer at indgå i afrapporteringen af tidslig udvikling af bundfaunaen i de åbne farvande. Herudover har Naturstyrelsen i regi af havstrategidirektivet taget bundfaunaprøver i de åbne dele af Kattegat og Nordsøen. Disse stationer er nye, og der findes derfor ingen tidsserier herfra. Det drejer sig om 10 stationer i den danske del af Nordsøen og 7 stationer i Kattegat.

For de kystnære områder blev der i 2015 indrapporteret bundfauna fra 60 vandrammedirektivområder (VRD-områder), hvoraf 48 områder også blev besøgt i 2011 og 2013. Med nogle undtagelser var delproeantallet det samme i disse tre år, dvs. 42 prøver pr. område svarende til ca. 0,6 m² bundareal.

Data er alle indsamlet i henhold til retningslinjerne i den tekniske anvisning for NOVANA for overvågning af bunddyr (*Hansen & Josefson 2014*). Med undtagelse af ét område i Kattegat, hvor der blev anvendt Van veen grab, blev materialet indsamlet med Haps-bundhenter med et areal på 143 cm². På de 22 HELCOM-stationer blev der indsamlet 5 haps-prøver fra samme station (punktstation). På de øvrige stationer (stationsområder) blev der taget 42 delproe på individuelle positioner. I hele datamaterialet varierer prøvetagningsdybden fra 0,5 m til 91 m.

Resultater fra overvågningen i de kystnære områder

Der er gennemført to typer af analyser af data fra fjorde og kystnære områder:

- 1) Individthæthed, biomasse og alfa-diversitet på område/stations-skala for 2015 er sammenlignet med data fra 2011 og 2013 fra 47 VRD-områder, hvor der er anvendt nogenlunde samme undersøgelsesdesign, dvs. 20-42 prøver fra et homogent stationsområde. Formålet er at vurdere, om der er sket en generel ændring for disse parametre over de sidste fire år.
- 2) Langtidsanalysen af de nævnte parametre fra VRD-områderne er blevet opdateret og dækker nu tidsperioden 1998-2015. Der er i denne periode data fra ca. halvdelen af VRD-områderne (26 områder) i næsten alle prøvetagningsår (1998-2011, 2013, 2015) men med varierende antal delproe. Data fra forskellige år er ikke uafhængige, især når det gælder bund-

faunaens biomasse. Derfor er den tidslige ændring analyseret med en robust regressionsmetode, der ikke kræver uafhængige (eller balance-rede) data (Anderson *m.fl.* 2008). Tilførslen af næringsstoffer til de danske kystområder har været faldende; fx er tilførslen med kvælstof faldet omkring ca. 50 % i perioden 1990-2014 (Wiberg-Larsen *m.fl.* 2015). Langtidsanalysen vil lige som i forrige års rapport blive brugt til at 'teste' hypotesen om, at en mindsket tilførsel af næringsstoffer har haft en effekt på bundfaunaen i de kystnære områder i perioden 1998-2013.

Det er veldokumenteret, at bundfaunaens individantal og biomasse påvirkes positivt af øget tilførsel af næringsstoffer, så længe ilt eller andre faktorer ikke er begrænsende (Pearson & Rosenberg 1978; Josefson & Rasmussen 2000). Hvis en mindsket tilførsel af kvælstof har haft effekt, vil man i mange områder derfor forvente et fald i biomassen og måske også i individtætheden. Samtidig er der grund til at forvente, at den største effekt forekommer tættest på kilden dvs. i fjorde, hvor ændringen i næringsstofkoncentrationen er størst. Derfor er analysen foretaget separat på data fra fjorde (17 områder) og sammenlignet med data fra den åbne kyst (9 områder).

Sammenligning 2011-2015

I modsætning til forrige års rapport, hvor en ANOVA med breddegrad som covariabel blev brugt for sammenligning af årene 2011 og 2013, er her brugt en test med højere power, parret t-test, for at vurdere parvise forskelle mellem de tre år 2011, 2013 og 2015. Der er brugt forskellige biomasse mål i forskellige områder (vådvægt eller tørvægt), men eftersom det samme mål er brugt på hver station/område, og testen sammenligner år parvis på hver station, burde dette ikke give nogen bias i analysen.

Tabel 9.1. Sammenligning af årene 2011, 2013 og 2015 ved parret t-test af 47 (48) VRD-områder. Antal frihedsgrader (df) er angivet i parentes.

Parameter	Middel År 1	Middel År 2	t-værdi	P
Alfa-diversitet				
2011 vs 2013 (47)	36,5	41,9	-3,489	0,001
2011 vs 2015 (46)	37,1	36,2	0,630	0,532
2013 vs 2015 (46)	42,4	36,2	4,299	0,000
Antal af individer/m²				
2011 vs 2013	2693	2974	-0,662	0,512
2011 vs 2015	2748	2676	0,145	0,885
2013 vs 2015	3024	2676	1,274	0,209
Biomasse g/m²				
2011 vs 2013	202	212	-0,403	0,688
2011 vs 2015	206	173	1,056	0,297
2013 vs 2015	214	173	1,350	0,184

Der var ikke nogen forskel mellem årene, som gik igen for alle parametrene. Der var dog generelt højere alfa-diversitet og individtæthed i 2013 sammenlignet med 2011 og 2015 og lavere biomasse i 2015 end de andre to år (tabel 9.1).

Tidslig udvikling 1998-2015

Analysen af langtidsudviklingen blev udført på baggrund af data fra fjorde og åbne kyster repræsenteret ved områderne angivet i tabel 9.2. Dog indgår ikke data i 2015 fra Flensborg Fjord og Vadehavsområderne, da dataformat

og stationstyper i disse områder ikke umiddelbart var sammenlignelige med de øvrige områder.

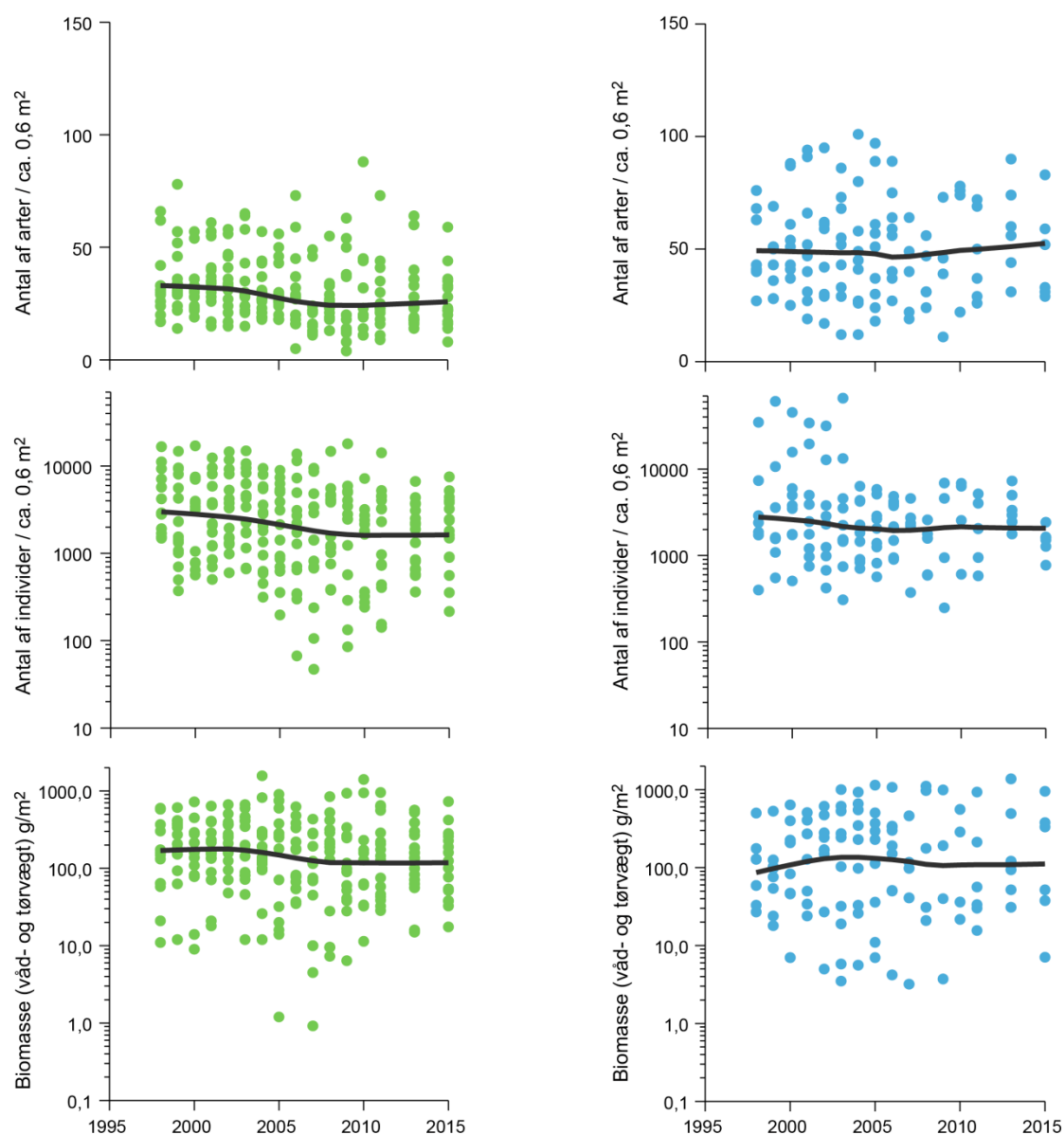
Tabel 9.2. Områder med tidsserier for perioden 1998-2015.

Fjorde	Åbne kyster
Flensborg Fjord	Hevring Bugt
Horsens Fjord	Karrebæksminde Bugt
Isefjord	Kattegat
Kolding Fjord	Lillebælt
Køge Bugt	Nivå Bugt
Løgstør Bredning, Limfjorden	Ringsgaardbassinet
Mariager Fjord	Vadehav N
Nisum Bredning, Limfjorden	Vadehav S
Nisum Fjord	Øresund
Odense Fjord	
Præstø Fjord	
Ringkøbing Fjord	
Roskilde Bredning	
Roskilde Fjord N	
Skive Fjord, Limfjorden	
Vejle Fjord	
Aarhus Bugt	

Der var en tydelig forskel i den tidslige udvikling (1998-2015) i fjorde kontra de åbne kyster (*figur 9.1; tabel 9.3*). I fjordene viste alfa-diversiteten og individtætheden et signifikant fald ($P < 0,01$) i perioden 1998-2015 og biomassen et fald grænsende til signifikant ($0,05 < P < 0,10$), mens der ingen signifikant ændring var for de åbne kyster. I fjordene var der en tendens til, at både diversitet, individtæthed og biomasse aftog markant i perioden 2000-2005. Hypotesen om en mere markant udvikling i fjorde end for de åbne kyster blev således bekræftet.

Tabel 9.3. Resultat af permutations regression med DistML mod tid (år) i perioden 1998-2015. P-værdier er fremkommet fra 999 permutationer. Bemærk at ingen af de tre parametre ændredes signifikant for de åbne kyster, hvorimod alfa-diversitet og antal af individer faldt signifikant i fjorde. d.f. angiver antal frihedsgrader.

	p	d.f.	Trend 1998-2015
Alfa-diversitet			
Fjorde	0,003	237	fald
Åbne kyster	0,909	112	
Antal af individer/m² (10Log)			
Fjorde	0,003	237	fald
Åbne kyster	0,07	112	(fald)
Biomasse g/m² (10Log)			
Fjorde	0,095	237	(fald)
Åbne kyster	0,881	112	



Figur 9.1. Tidslig udvikling af artsantal (alfa-diversitet), indvidtæthed og biomasse i perioden 1998-2015 i fjorde (venstre kolonne) og i åbne kystområder (højre kolonne). Trends er fremkommet ved glidende middelværdi beregnet med LOWESS (tension = 0,6).

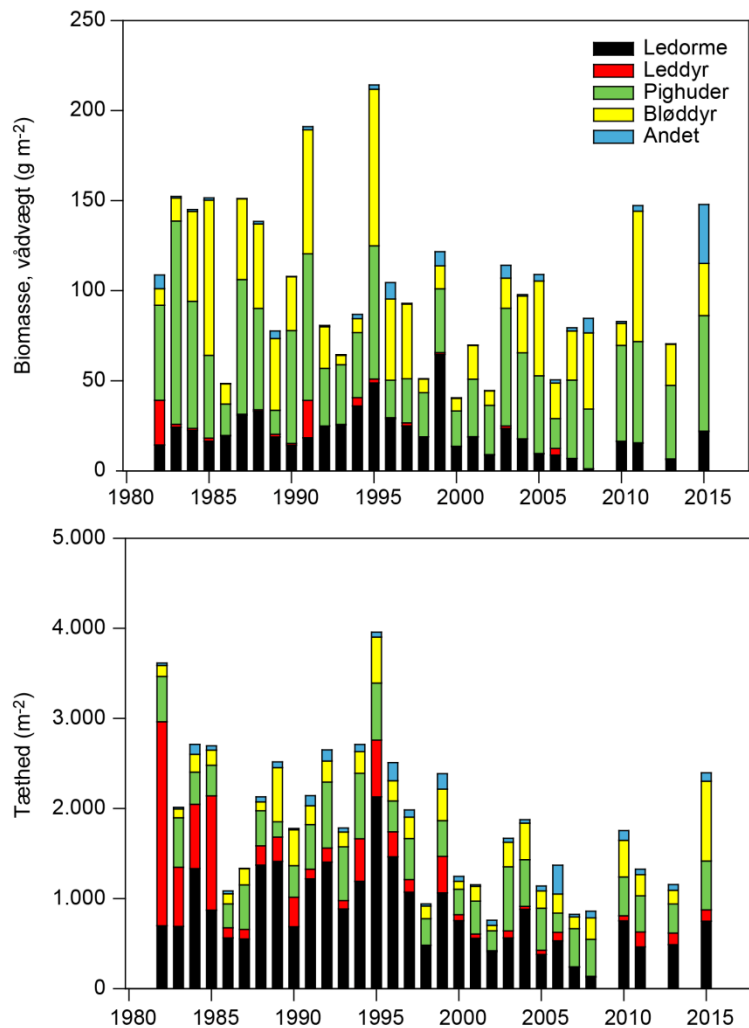
Lokal udvikling

Af enkelthændelser siden 2013 kan nævnes markant lavere artsantal, indvidantal og biomasse i 2015 i Knebel Vig. Der var kun 4 arter sammenlignet med 26 i 2013, hvor en af arterne var superopportunisten *Capitella capitata*, som typisk optræder efter ophobning af organisk materiale og dårlige ilthold. Det er derfor sandsynligt at disse ændringer skyldes iltsvind i den mellemliggende periode på to år.

Resultater fra overvågningen i de åbne indre farvande

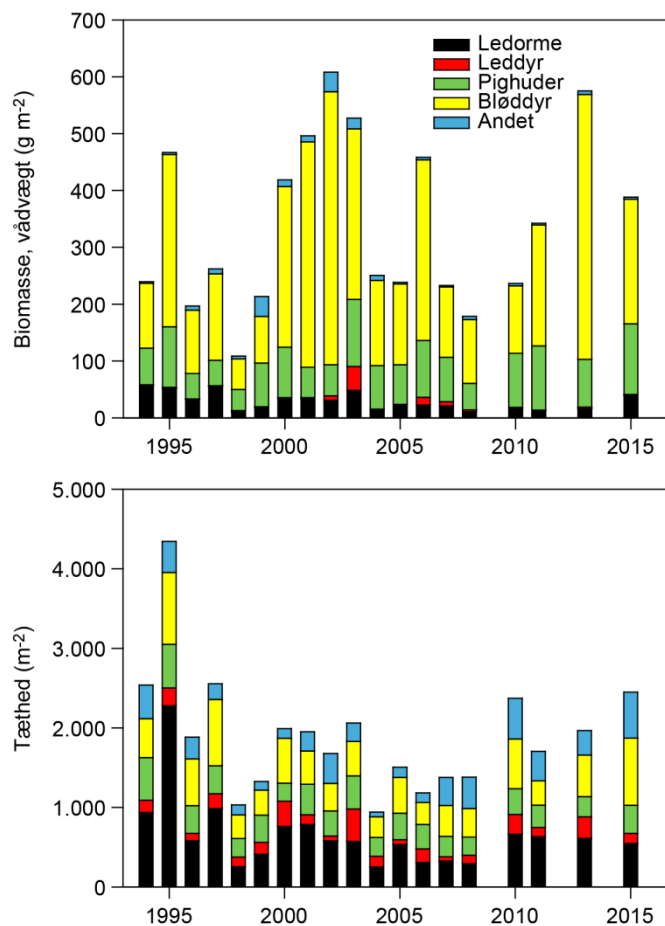
Udviklingen i bundfauna på 22 HELCOM-stationer viste store mellemårige variationer i biomasse, antal og artsantal. På 4 ud af de 22 stationer er der tidsserier tilbage til 1982. Disse 4 stationer ligger i Kattegat, Bælthavet, Øresund og Arkonahavet. Stationen i Arkonahavet har ofte været udsat for iltsvind, der har medført reduktioner i bundfaunaen, og den tidslige udvikling på denne station følger ikke den generelle udvikling i de åbne indre danske farvande. På de øvrige 3 stationer viste data, som beskrevet i tidligere havrapporter, at der ikke var nogen tydelig udvikling i biomassen, mens der er sket et generelt fald i individtætheden siden midten af 90'erne (figur 9.2). På disse 3 stationer var det især gruppen af leddyr, der er blevet relativt mindre talrig siden slutningen af 1990'erne.

Figur 9.2. Udvikling i biomasse (øverst) og tæthed (nederst) fordelt på taksonomiske hovedgrupper i perioden 1982-2015, vist som gennemsnit for 3 stationer i de åbne indre danske farvande (Kattegat, Bælthavet og Øresund). Ledorme udgøres hovedsageligt af havbørsteorme, leddyrne er hovedsageligt krebsdyr, pighuder omfatter hovedsageligt slangestjerner og søpindsvin og bløddyr udgøres mest af muslinger og snegle.



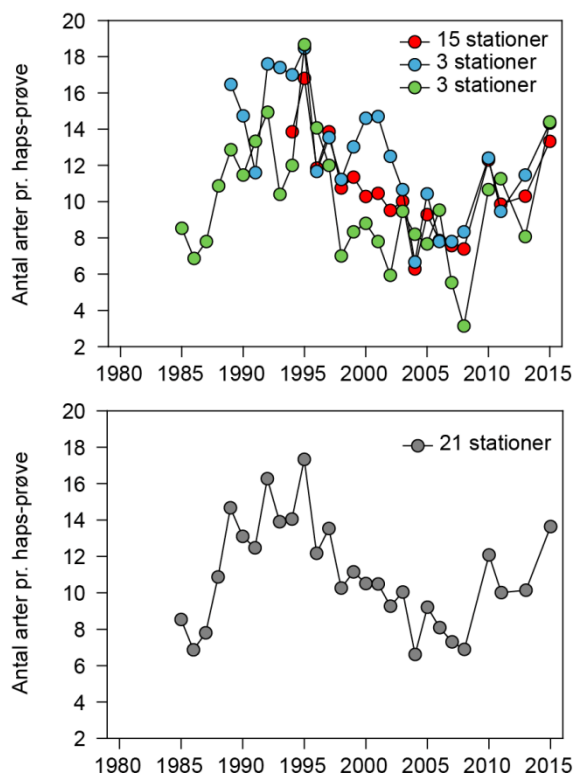
På de øvrige 18 stationer var der ligeledes høje individtætheder i slutningen af 1990'erne efterfulgt af lave værdier i 00'erne (figur 9.3). I de senere år blev igen observeret høje individtætheder. Biomassen udgjordes hovedsageligt af bløddyr og pighuder og var høj i 1995, omkring år 2002 og igen i 2013. Det skal dog bemærkes, at biomasserne er behæftet med meget stor variation pga. lejlighedsvis fund af enkelte store muslinger.

Figur 9.3. Udvikling i biomasse (øverst) og tæthed (nederst) fordelt på taksonomiske hovedgrupper i perioden 1994-2015 vist som gennemsnit for 18 stationer i Kattegat, Bælthavet og Øresund. De taksonomiske hovedgrupper er udspecificeret i figurteksten til figur 9.2.



Artsrigdommen på de 21 HELCOM-stationer (Arkona-stationen udeladt) i de åbne indre danske farvande viste, som tidligere beskrevet (fx *Josefson m.fl.* 2015), en høj grad af co-variation mellem forskellige grupperinger af stationer (figur 9.4, øverst). Fra 1995, hvor artsrigdommen var på sit højeste, og de næste 12 år skete der et næsten lineært fald i alfa-diversiteten fra i gennemsnit 18 arter pr. prøve til ca. 7 arter pr. prøve i 2008. I perioden mellem 2008 og 2010 steg artsrigdommen markant. Denne markante hændelse har været beskrevet i tidligere års havrapporter. Med data fra 2015 kan der dokumenteres en lignende hændelse i perioden 2013 og 2015. I den periode, hvor der foreligger et rimelig homogent datasæt (1994-2015), indtraf der således tre sådanne hændelser i 1995, 2010 og nu igen i 2015, hvor biodiversiteten steg synkront i hele Kattegatområdet. Der var ingen prøvetagning i 2009, 2012 og 2014, så derfor er det ikke muligt at fastslå præcist hvilke år, rekrutteringen har været særlig høj i forhold til stigningen i 2010 og 2015. I 2015 var det gennemsnitlige antal arter i en haps-prøve 14,4, hvilket er det næsthøjeste antal siden 1995.

Figur 9.4. Udvikling i alfa-diversitet udtrykt som gennemsnitligt antal arter pr. haps-prøve i Kattegat, Øresund og Bælthavet for henholdsvis 3 stationer i perioden 1985-2015, 3 stationer i perioden 1989-2015 og 15 stationer i perioden 1994-2015 (øverst). Gennemsnit af alle stationer målt i perioden 1982-2015 (nederst).



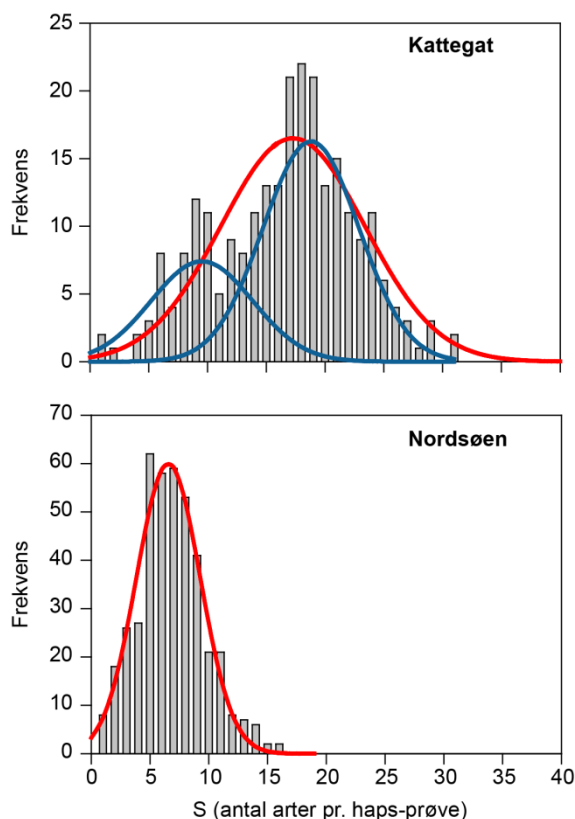
Resultater fra nyetableret overvågning i Nordsøen og Kattegat

I 2015 blev der i alt indsamlet 671 haps-prøver fra 10 områder i Nordsøen og fra 7 områder i Kattegat affødt af behovet i havstrategidirektivet for flere data fra åbenvandsområder. Inden for hvert af disse områder blev der, i lighed med de kystnære områder, taget 42 prøver (i et enkelt område 41) på forskellige positioner. Da der ikke tidligere har været taget prøver i disse områder, vil analyserne i denne rapportering hovedsagelig omfatte sammenligninger af den rummelige fordeling af bundfaunaens alfa-diversitet, tæthed og Shannon-diversitet (tabel 9.4). I Kattegatområdet var artsantallet højt med i gennemsnit 16,5 arter og helt op til 20,5 arter pr. haps-prøve som gennemsnit for område 'e'. Kun område 'a' og 'b' havde relativt få arter (henholdsvis 9,9 og 12,3). I Nordsøområdet var antallet af arter pr. haps-prøve kun ca. det halve af antallet i Kattegatområdet med 6,9 arter pr. prøve som gennemsnit for alle prøverne i Nordsøområdet mod 16,5 arter pr. prøve i gennemsnit for Kattegatområdet. Individantallet var næsten fire gange så højt i Kattegat (3.800 m⁻²) som i Nordsøen (980 m⁻²). Shannon-diversiteten var 4,11 i Kattegat (Van veen prøver fra område 'd' ikke indregnet) og 3,6 i Nordsøen. For Nordsøen som helhed var fordelingen af alfa-diversiteten forholdsvis ensartet og normalfordelt omkring middelværdien (figur 9.5). I Kattegat var områderne 'a' og 'b' markant forskellige fra de øvrige områder og fordelingen af alfa-diversiteten kunne beskrives med to normalfordelinger: En fordeling omkring en lav alfa-diversitet og en fordeling, der beskrev en høj alfa-diversitet. De to områder med lav alfa-diversitet i Kattegat lå på nogenlunde samme niveau som de højeste værdier i Nordsøen.

Tabel 9.4. Gennemsnitlig dybde, artsrigdom (alfa-diversitet), individtæthed og Shannon-diversitet i områder i Kattegat og Nordsøen. Artsrigdommen repræsenterer det gennemsnitlige antal arter pr. haps-prøve undtagen område 'd', hvor der blev anvendt Van veen prøver. Shannon-diversiteten (log-base 2) er udregnet for bunddyrssamfund summeret over syv haps-prøver (for området 'd' syv Van veen prøver). Individttætheden angiver det gennemsnitlige antal individer pr. kvadratmeter. $\pm$ stdev angiver standardafvigelsen.

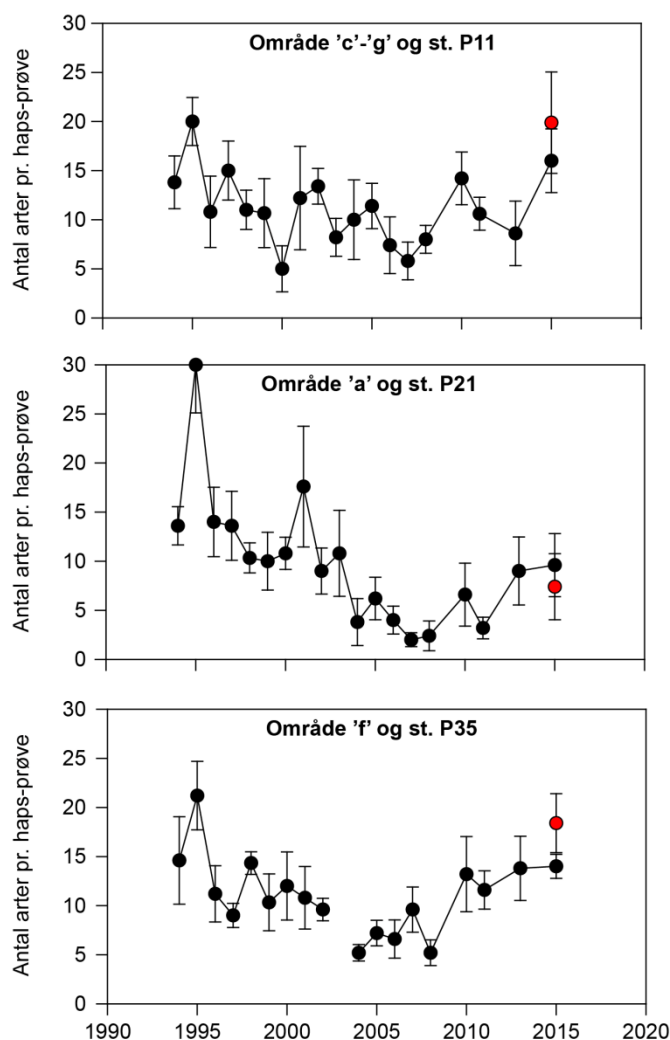
	Dybde m	Artsrigdom $\pm$ stdev	Individantal $\pm$ stdev	Shannon $\pm$ stdev
Kattegat				
Område a	18,8	12,3 $\pm$ 6,2	2.965 $\pm$ 2.583	3,91 $\pm$ 0,46
Område b	76,9	9,9 $\pm$ 3,3	3.124 $\pm$ 2.431	3,15 $\pm$ 0,23
Område c	38,5	20,1 $\pm$ 4,0	3.109 $\pm$ 736	4,68 $\pm$ 0,36
Område d	82,3		7.418 $\pm$ 3456	3,0 $\pm$ 0,4
Område e	30,6	20,5 $\pm$ 5,1	3.402 $\pm$ 1.080	4,51 $\pm$ 0,37
Område f	22,2	18,6 $\pm$ 3,5	3.748 $\pm$ 901	4,03 $\pm$ 0,24
Område g	39,3	17,6 $\pm$ 4,1	2.924 $\pm$ 956	4,39 $\pm$ 0,39
Nordsøen				
DMU1023	28,8	6,7 $\pm$ 2,5	1.409 $\pm$ 872	2,63 $\pm$ 0,68
DMU1035	26,6	6,9 $\pm$ 2,2	766 $\pm$ 310	3,86 $\pm$ 0,16
DMU1042	18,0	6,9 $\pm$ 3,5	1.112 $\pm$ 925	3,53 $\pm$ 0,19
DMU1054	26,0	7,3 $\pm$ 2,7	971 $\pm$ 613	3,78 $\pm$ 0,18
DMU1074	42,0	7,2 $\pm$ 2,3	794 $\pm$ 351	4,05 $\pm$ 0,2
DMU1075	43,6	7,0 $\pm$ 3,0	728 $\pm$ 403	3,94 $\pm$ 0,2
DMU1076	55,2	8,3 $\pm$ 2,0	1.705 $\pm$ 937	2,97 $\pm$ 0,47
DMU1077	70,9	8,3 $\pm$ 3,1	1.162 $\pm$ 672	3,77 $\pm$ 0,14
DMU1101	31,3	5,4 $\pm$ 2,3	586 $\pm$ 340	4,11 $\pm$ 0,38
DMU1130	21,4	4,4 $\pm$ 2,9	603 $\pm$ 715	3,44 $\pm$ 0,39

Figur 9.5. Frekvensfordeling af artsantallet i en haps-prøve i Kattegat (øverst, N = 252) og Nordsøen (nederst, N = 378). Røde kurver angiver estimeret normalfordeling for alle prøver i Nordsøen og i Kattegat. Blå kurver angiver estimeret normalfordeling for henholdsvis områderne 'a' og 'b' (lave værdier) og resten af områderne ('c', 'e', 'f', 'g') i Kattegat (Van veen prøver fra område 'd' indgår ikke).



Der har ikke tidligere været taget prøver i disse områder af Kattegat og Nordsøen, og den tidlige udvikling i disse områder kan dermed ikke beskrives. Tre af HELCOM-stationerne (P21, P35 og P11) ligger dog henholdsvis inden for område 'f' (P35), i nærheden af område 'a' (P21) eller mellem områderne 'c' og 'g' (P11). En sammenligning af alfa-diversiteten på disse tre stationer med alfa-diversiteten for de nærmeste fem haps-prøver inden for områderne 'a', 'c', 'f', 'g' viste nogenlunde samme niveau for alfa-diversiteten i de to forskellige datasæt (figur 9.6).

Figur 9.6. Udvikling i alfa-diversitet på HELCOM-stationer (sorte symboler) sammenlignet med alfa-diversiteten i 2015 inden for stationsområder undersøgt i regi af havstrategidirektivet (røde symboler). Stationen P11 er beliggende mellem stationsområderne 'c' og 'g' i det nordøstlige Kattegat (øverst). Stationen P21 er beliggende lige syd for stationsområde 'a' i Læsø Rende (midten). Stationen P35 er beliggende i stationsområde 'f' i det sydlige Kattegat. For hvert område er udvalgt de fem prøver, som ligger nærmest ved HELCOM-stationen. Usikkerhed er angivet ved standardafvigelse.



Hestemusling og blåmusling, biogene revdannere

Modiolus modiolus (almindelig hestemusling) og *Mytilus edulis* (almindelig blåmusling) kan danne tætte bestande, der huser andre arter. Sådanne tætte bestande kan betegnes som biogene rev.

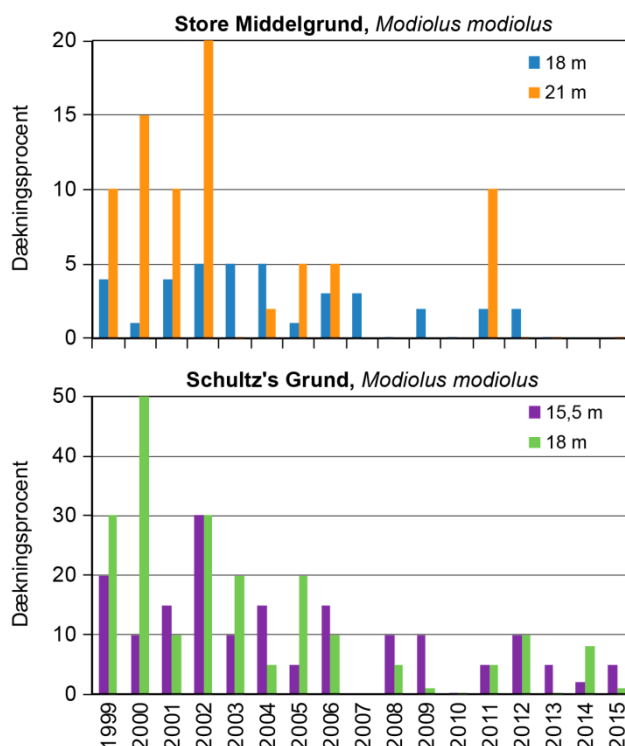
Almindelig hestemusling

NOVANA-undersøgelser på stenrev omfatter også blandede bunde, hvor bestande af almindelig hestemusling med 10 % dækning af bunden eller mere er observeret enkelte steder. I den nordlige del af Kattegat, på Læsø Trindel, blev muslingen fundet i ca. 11 m's dybde med gennemsnitligt 7,5 % dækning i 1991-1993 og 2 % dækning i 1994-1997. Den pågældende dybde er ikke undersøgt siden. Spredte individer på dybere vand forsvandt fuldstændig i samme periode. I den østlige og sydlige del af Kattegat er udviklingen af bestandene for henholdsvis Store Middelgrund og Schultz's Grund i årene 1999-2015 vist i figur 9.7. Begge steder har dækningen været væsentlig mindre i de

senere undersøgelsesår end i begyndelsen af undersøgelsesperioden. En tæt bestand af almindelig hestemusling findes muligvis stadig i farvandet ved Samsø: På Munkegrund, der blev besøgt i 1991 og 1994, var der ret tætte bestande i 12-13 m's dybde med 10 og 5 % dækning. Ved Vejrø, der ligger tæt ved, var der ved sidste undersøgelse i 2012 en dækning af almindelig hestemusling på 20 % i 19-21m's dybde. Hestemuslinger kan blive meget gamle og findes ofte i en mosaikstruktur med mere tætte og spredte forekomster. De hestemuslinger, der registreres ved dykkerundersøgelser, har alle været store ældre individer. En del af år til år variationer i muslingernes dækning skyldes derfor næppe variationer i rekruttering af nye individer, men snarere usikkerheden ved bestemmelsen af muslingernes dækning grundet den klumpede rummelige fordeling.

Andre undersøgelser har vist, at tidligere bestande af almindelig hestemusling i Kattegat er væk, sandsynligvis pga. trawlfiskeri, og at tilgangen af unge individer i Øresund stort set har manglet siden 1997 (Olesen m.fl. 2011). Der er derfor bekymring for, om almindelig hestemusling i Øresund er ved at forsvinde.

Figur 9.7. Almindelig hestemuslings (*Modiolus modiolus*) dækninger af bunden ved dykkerundersøgelser på Store Middelgrund og Schultz's Grund i perioden 1999-2015 på to dybder hvert sted, hvor den har været fundet med stor dækning. De viste målinger er fra august. Dækningsgraden af almindelig hestemusling er ikke opgjort på Store Middelgrund i 2014 og på Schultz's Grund i 2007.



Østersø-blåmusling

I 2015 kom navnet *Mytilus trossulus* på listen over danske arter (Allearter.dk, web 2016). I Oliver m.fl. (web 2016) beskrives *M. trossulus*, inklusive hybrider fra Østersøen, som morfologisk distinkte fra *Mytilus edulis* (almindelig blåmusling). Efter istiden blev en isoleret bestand af *M. trossulus* tilbage i Østersøen. Denne bestand har efterfølgende hybridiseret med *M. edulis*. I Smålandsfarvandet findes også hybrider mellem de to muslingearter, mens individer indsamlet i den vestlige Østersø var ren *Mytilus edulis* (Zbawicka m.fl. 2014). Muslinger indsamlet på NOVANA-stationer på Kirkegrund i Smålandsfarvandet i 2015 blev bestemt til *M. edulis* ud fra deres udseende, mens individer fra Møns Klint og Stevns Klint blev bestemt til *M. trossulus*. Det danske navn 'Østersø-blåmusling' foreslås for *M. trossulus* hybrid i vores farvande.

Diskussion

Dataanalyse af bundfaunaprøverne fra de 47 vandrammedirektivområder i 2011, 2013 og 2015 viste ikke nogen forskel i individtæthed eller biomasse over de sidste fire år. Dette resultat var forventeligt set i lyset af den store rumlige variation mellem områderne og fraværet af større miljøforstyrrelser i den mellemliggende periode. Analysen af alfa-diversitet viste dog signifikant ($P < 0,01$) højere diversitet i 2013 end i 2011 og 2015, mens der ikke var nogen forskel mellem de to sidstnævnte år. Grunden til at der ikke kunne påvises signifikant forskel mellem 2011 og 2013 i forbindelse med rapporteringen i 2014, var den meget højere power af den her brugte parrede test end ANOVA-testen, som blev brugt ved den tidligere analyse.

Det observerede fald i individtæthed og tendensen til fald i biomasse i fjorde (estuarier/fjordmundinger) sammenholdt med uændrede værdier i de åbne kystområder i perioden 1998-2015 er i overensstemmelse med den forventede respons fra bundfaunaen på den reducerede tilførsel af næringsstoffer fra land. Reduktionen af kvælstoftilførslen på ca. 50 % i perioden er dog lille set i forhold til den store variation (flere størrelsesordner) i tilførslen af næringsstoffer mellem de områder, der ligger til grund for de signifikante empiriske relationer, der tidligere er blevet påvist mellem biomasse og tilførsel af kvælstof i danske fjorde (Josefson & Rasmussen 2000). Dette, sammen med stor rumlig variation af faunaen, kan muligvis forklare det lave signifikansniveau for biomassen i nærværende analyse. En yderligere forklaring til det lave signifikansniveau er, at tidsserien 1998-2015 kun dækker den senere del af den periode, under hvilken der er sket reduktioner i tilførslen af næringsstoffer. Det fald, der her er beskrevet for biomassen, er i overensstemmelse med et fald i biomassen over en længere periode (1988-2014) i fjorde og kystnære områder (Riemann *m.fl.* 2016). Her blev det vist, at faldet hovedsagelig skyldes et fald i biomassen af filtratorer parallelt med en reduktion i tilførslen af næringsstoffer. Hvis denne fortolkning er korrekt, har reduktionen i tilførslen af kvælstof haft en oligotrofierende effekt i forhold til bundfaunaen – især i fjordene. Samtidigt indikerer resultaterne dog, at der vil gå lang tid, inden ændringen som følge af reduceret kvælstoftilførsel overstiger de observerede variationer i systemet.

I de åbne dele af de indre danske farvande viste data fra HELCOM-stationerne generelt en høj artsdiversitet og en høj individtæthed. Artsdiversiteten har således overordnet set været stigende siden 2008, hvor diversiteten var lavest, og den er nu på det næsthøjeste niveau siden 1994. Der er således sket en markant rekruttering til bundfaunasamfundet i perioden siden sidste prøvetagning i 2013. Det er uvist om denne rekruttering er sket i sommeren 2013 eller sommeren 2014. Det bemærkelsesværdige er, at rekrutteringen er sket på stort set samtlige stationer uanset, at der er tale om forskellige habitater og dyresamfund. Samme observation blev gjort i 2010 (og til dels 1995), hvor der ligeledes forekom meget store rekrutteringer til bundfaunasamfundet. Det er uklart, hvilke mekanismer der ligger bagved disse hændelser, hvor så mange forskellige organismer på forskellige levesteder får gode rekrutteringsforhold inden for den samme periode.

Undersøgelserne i de nye områder i Kattegat bekræfter billedet af høje værdier for alfa-diversiteten i 2015. Da der ikke tidligere har været taget prøver i disse områder, er det ikke muligt at afgøre, om det generelt er meget artsrige områder, eller om '2015-rekrutteringen' er særligt tydelig her. En sammenligning af bundfaunaen i Nordsøen og Kattegat viste markante forskelle i bundfaunaens tæthed og diversitet. For Kattegat som helhed var tætheden

af bundfaunaen omkring 3,5 gange højere i Kattegat end i Nordsøen. Alfa-diversiteten var tilsvarende ca. dobbelt så høj i Kattegat som i Nordsøen. Med forbehold for at den tidlige udvikling er ukendt, så fremstår områderne i Nordsøen meget artsfattige i sammenligning med områderne i Kattegat. For især de vestligste områder i Nordsøen forventes bundtypen og bundfaunasamfundet at være sammenlignelige med forholdene i Kattegat, og som udgangspunkt forventes der tilsvarende biodiversitetsniveauer. Det er imidlertid ikke muligt med de foreliggende data at afgøre, om bundfaunaens lave biodiversitet i Nordsøen skyldtes en udefra kommende årsag som fx forstyrrelse fra trawlfiskeri.

Almindelig hestemusling synes at være i tilbagegang på revlokaliteter undersøgt under NOVANA-programmet. I 2015 blev det erkendt, at det, som tidligere blev betragtet som almindelig blåmusling, nu bør opfattes som to separate arter, *Mytilus edulis* og *Mytilus trossulus* (Østersø-blåmusling).

Sammenfatning

- Der var ikke sket nogen generel ændring af individtætheden og biomassen de seneste år vurderet på grundlag af prøver fra 47 vandområder i 2011, 2013 og 2015. Artsantallet (alfa-diversiteten) var lidt, men dog signifikant, højere i 2013, mens artsantallet i 2011 og 2015 var på det samme niveau.
- Langtidsudvikling i perioden 1998-2015 af artsantal, individtæthed og biomasse viste tydelige forskelle mellem fjordene og de åbne kyster. For parametrene var der et fald i fjordene, mens der ingen ændring var i de åbne kyster. Dette støtter hypotesen om, at reduktionen i tilførslen af kvælstof har haft en oligotrofierende effekt på bundfaunaen. Den reducerede biomasse siden 1998 i fjordene passer med trenden for fjorde og kystnære områder siden slutningen af 1980'erne, hvor det blev vist, at en større del af faldet skyldtes en reduktion i filtratorernes biomasse.
- Af enkelthændelser kan specielt nævnes et markant lavere artsantal, individantal og biomasse i 2015 i Knebel Vig. Det er sandsynligt, at dette skyldes intensiveret iltsvind de seneste år.
- På HELCOM-stationer i de åbne farvande var alfa-diversiteten steget siden 2013 og på det næsthøjeste niveau siden 1994. Med data for 2015 var det tredje gang siden 1994, hvor der er observeret en markant stigning i alfa-diversiteten på stort set samtlige stationer inden for den samme periode.
- Undersøgelser i regi af havstrategidirektivet af syv stationsområder i Kattegat viste høje værdier for alfa-diversiteten og bekræftede dermed resultaterne fra HELCOM-overvågningen.
- I sammenligning med Kattegat viste overvågningen af Nordsøen væsentligt lavere værdier for tæthed og alfa-diversitet. Årsagen til den lave biodiversitet i Nordsøen er ukendt.
- Bestanden af almindelig hestemusling (*Modiolus modiolus*) synes at være på retur på flere af de revlokaliteter, som overvåges under NOVANA-programmet.
- Blåmuslinger bør fremover betragtes som to arter: Almindelig blåmusling (*Mytilus edulis*) og Østersø-blåmusling (*Mytilus trossulus*) for den morfologisk distinkte hybrid udviklet i Østersøen.

10 Havpattedyr - sæler og marsvin

Anders Galatius, Signe Sveegaard & Jonas Teilmann

Danmarks tre mest talrige havpattedyr er spættet sæl, gråsæl og marsvin. Alle tre arter er beskyttet i henhold til habitatdirektivet. Marsvinet er nævnt i bilag II og IV, og begge sælarter i bilag II og V. For arter i bilag II skal der udpeges beskyttede områder, de såkaldte Natura 2000-områder (N2000-områder). Marsvin skal derudover beskyttes i hele deres udbredelsesområde (bilag IV), og sæler kan blive genstand for forvaltningstiltag, hvis en overvågning viser, at disse arters udbredelse er i tilbagegang (bilag V).



Spættet sæl i Vadehavet. Foto: Anders Galatius.

Metoder og datagrundlag

Natura 2000-områder

I henhold til habitatdirektivet er der for spættet sæl og gråsæl udpeget hhv. 22 og 12 N2000-områder (*figur 10.1*). Af disse i alt 23 områder (11 områder er udpeget for begge sælarter) findes faste kolonier af spættet sæl på land i 17 af områderne, mens gråsælerne opholder sig jævnligt på land i 9 områder udpeget for denne art. Disse områder har indgået i den nationale overvågning i Kattegat og Vadehavet siden 1976 (standardiseret siden 1979), i Limfjorden og Østersøen siden 1990 og for gråsæler standardiseret siden 2011 og 2014 i henholdsvis Kattegat/Limfjorden/Østersøen og Vadehavet. Uden for disse N2000-områder overvåges desuden enkelte lokaliteter, hvor sæler forekommer på land.

I 2010 var 16 N2000-områder udpeget for marsvin, og fra 2011 indgik overvågning af marsvin i disse områder i det nationale overvågningsprogram NOVANA.

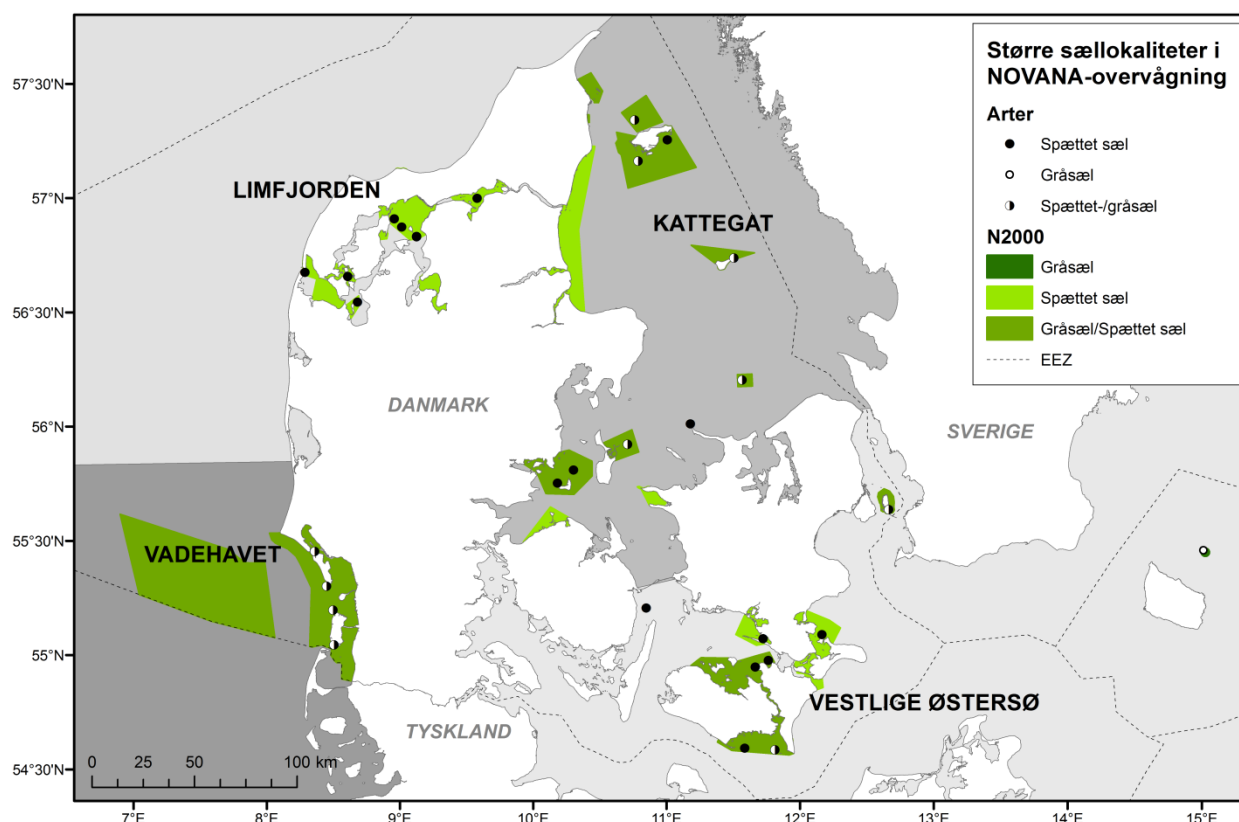
Overvågning af sæler

Fra 2011 og 2014 er systematiske tællinger af gråsæler i yngle- og fældeperioderne blevet en integreret del af det nationale overvågningsprogram. Før blev gråsæl kun registreret i tilknytning til optællinger af spættet sæl i august.

I det nuværende program flyovervåges spættet sæl og gråsæl i tre perioder:

- 1) Februar/marts er yngleperiode for gråsælerne i Østersøen. I perioden fokuserer overvågningen på gråsælunger i Østersøen og Kattegat i samarbejde med Sverige, Estland og Finland (HELCOM-samarbejde). December er yngleperiode for gråsæler i Nordsøen. Fra 2014 er der påbegyndt overvågning af gråsælunger i Vadehavet og Limfjorden i december i samarbejde Tyskland og Holland (Trilaterale Vadehavssamarbejde).

- 2) I maj/juni fælder gråsælerne i Østersøen, og de spættede sæler føder deres unger. I denne periode estimeres antallet af gråsæler i de indre farvande og ungeproduktionen for spættede sæler.
- 3) I august fælder de spættede sæler og optælles tre gange i hvert af områderne Kattegat, Limfjorden og Østersøen og to gange i Vadehavet i en koordineret indsats med Sverige, Tyskland og Holland. Tællingerne af de spættede sæler i august bruges til at overvåge udviklingen i den samlede bestand både i Danmark og på populationsniveau i samarbejde med Sverige, Tyskland og Holland (*Teilmann m.fl. 2010*).



Figur 10.1. Kort over N2000-områder for spættet sæl og gråsæl i danske farvande. Større kolonier med spættet sæl og lokaliteter, hvor der jævnligt observeres gråsæler, er vist med forskellig signatur. Bemærk at spættet sæl har en koloni på Sjællands Rev, hvor den ikke er beskyttet, og at gråsælen jævnligt observeres ved Nordre Rønner nord for Læsø og ved Agger Tange i den vestlige Limfjord, hvor den ikke er på udpegningsgrundlaget. Eneste område kun for gråsæler er ved Christiansø.

Overvågning af marsvin

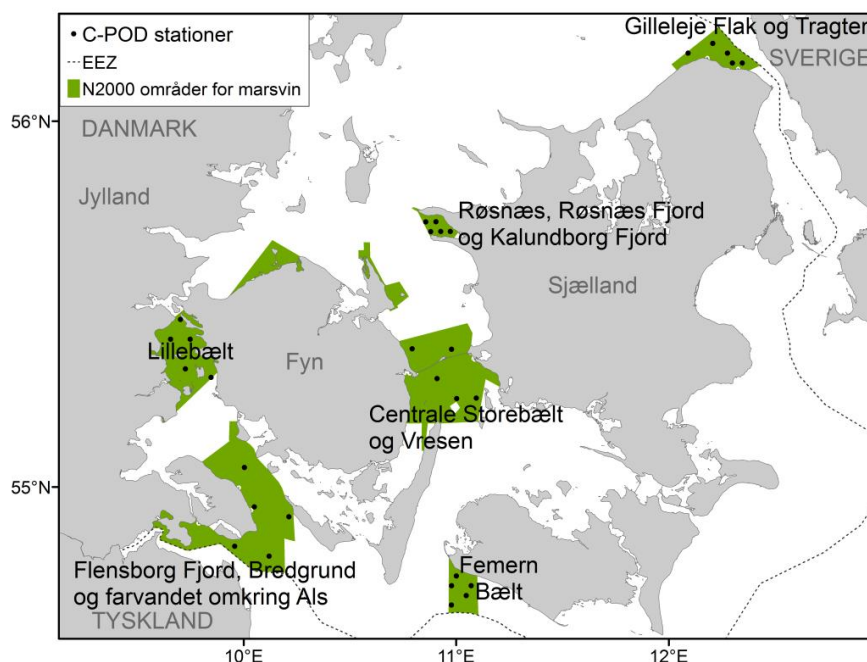
Marsvin overvåges ved brug af forskellige metoder alt efter de logistiske muligheder og sammenlignelighed med tidligere data fra de forskellige områder.

I NOVANA-perioden 2011-2016 udføres følgende overvågning:

- 1) I Skagerrak/nordlige Nordsø (tre habitatområder for marsvin) og den sydlige Nordsø (to habitatområder for marsvin) gennemføres en årlig optælling fra fly i alle fem habitatområder i juli/august. Der flyves i fastlagte transekter, og to observatører optæller alle marsvin på hver sin side af flyet. Flyovervågning udføres fra 600 fods højde (ca. 200 m) ved brug af standardmetoder for linjetransekter, distance-sampling (*Buckland m.fl. 2001*), og observationsprocedurer (*Scheidat m.fl. 2008; Gilles m.fl. 2009*).

- 2) I de indre danske farvande overvåges de seks vigtigste habitatområder for marsvin med stationære akustiske lyttestationer (C-PODs, fem i hvert område). Disse områder er 'Lillebælt', 'Flensborg Fjord, Bredgrund og farvandet omkring Als', 'Røsnæs, Røsnæs Fjord og Kalundborg Fjord', 'Centrale Storebælt og Vresen', 'Gilleleje Flak og Tragten' og 'Femern Bælt' (figur 10.2). Der overvåges to habitatområder ad gangen, og hvert område overvåges så vidt muligt to gange 12 måneder inden for perioden 2011-2016. I juni 2011 blev de første C-PODs udsat i habitatområderne i Kalundborg Fjord og Storebælt. I et samarbejde med NaturErhvervstyrelsen om effekter af brug af akustiske alarmer i garnfiskeri, blev de 10 stationer i Storebælt og Kalundborg Fjord dog fastholdt fra 2011 frem til hhv. september 2015 og april 2015. I perioden februar 2013 - maj 2014 blev udlagt 10 stationer i N2000-områderne i Lillebælt og Flensborg Fjord. Disse stationer blev udlagt igen i september 2015 og optager stadig. I april 2014 udlagdes 10 nye stationer i habitatområderne i Femern Bælt og det nordlige Øresund, og de skal opretholdes frem til hhv. april 2016 og september 2016.

Figur 10.2. Placering af akustiske dataloggere (C-PODs) i seks N2000-områder. EEZ (Exclusive Economic Zone) indikerer afgrænsningen af de danske farvande.



De fem C-PODs i hvert område er placeret på tilfældigt udvalgte positioner for at give et generelt billede af marsvinetætheden i området. Udstyret er alt efter forholdene enten placeret på havbunden med et anker og en akustisk udløser eller med anker og en overfladebøje. De registrerede marsvinelyde analyseres som antal minutter pr. døgn, hvor marsvin er detekteret (marsvine-positive minutter = Porpoise Positive Minutes = PPM). Herefter udregnes et gennemsnit per døgn for de fem stationer i hvert område og til sidst et gennemsnit af PPM/døgn for hver måned.

- 3) I de indre danske farvande blev der desuden foretaget en akustisk overvågning fra skib to gange inden for perioden 2011-2016, hvor de vigtigste N2000-områder blev gennemsejlet (2011 og 2013), og én gang i perioden (2012) blev der lavet en total optælling af bestanden i de indre farvande svarende til de tidligere gennemførte SCANS-optællinger (Hammond *m.fl.* 2013).

Resultater fra overvågningen

Med inddragelse af overvågningsresultater for 2015, beskrives i det følgende bestandsudviklingen af spættet sæl, gråsæl og marsvin i de danske farvande.

Spættet sæl

Nationalt

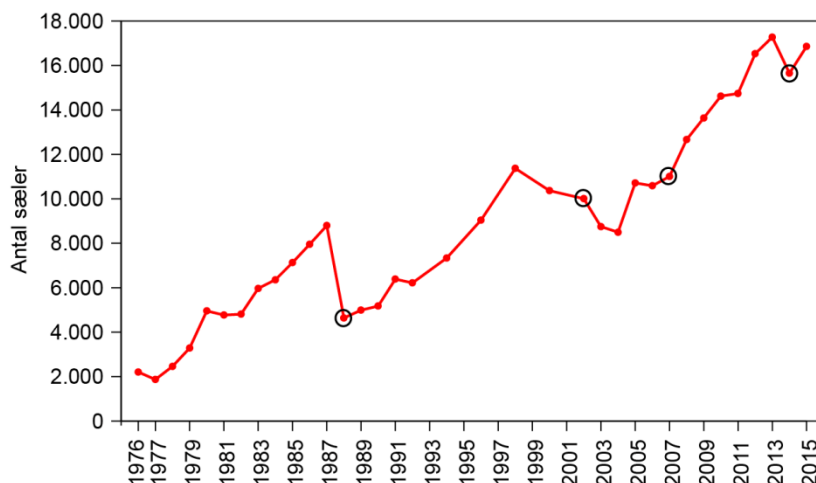
Spættet sæl er den mest almindelige sælart i Danmark. Spættet sæl forekommer især i kystnære farvande, med dybder mindre end 50 m, og hvor der findes uforstyrrede yngle-/hvilepladser på sandbanker, rev, holme og øer. Den danske bestand er opdelt i fire forvaltningsområder (Vadehavet, Limfjorden, Kattegat og den vestlige Østersø) på baggrund af genetiske forskelle og satellitmærkede dyrs brug af farvandene (figur 10.1; Olsen m.fl. 2014).

I 1988 og 2002 ramte to store epidemier med den mæslinge-lignende virus *phocine distemper virus* (PDV) de spættede sæler og slog 20-50 % af bestandene ihjel (figur 10.3; Härkönen m.fl. 2006). I 2002 ramte epidemien flere lokaliteter efter optællingerne i august, således at den samlede nedgang i bestanden først sås i 2003. Efter 1988 og indtil 2002 steg bestanden i gennemsnit med 11 % hvert år. Fra 2002-epidemien frem til 2014 var den gennemsnitlige årlige stigning 6 %. En mindre epidemi af ukendt oprindelse blev registreret på Anholt og den svenske vestkyst i 2007 (Härkönen m.fl. 2008). Kun nogle hundrede spættede sæler døde i sommeren 2007, og effekten på den samlede danske bestand var ikke synlig i overvågningsresultaterne. I sommeren/efteråret 2014 blev de spættede sæler i Kattegat, Limfjorden og Vadehavet ramt af en ny epidemi, som denne gang skyldtes fugleinfluenza. Mange hundrede spættede sæler døde i Kattegat, Limfjorden og Vadehavet (Bodewes m.fl. 2015; Krog m.fl. 2015).

Potentielt kan de store PDV-epidemier vende tilbage med > 10 års intervaller, når andelen af sæler uden immunitet (dvs. født efter 2002) når en vis størrelse, og smitten er til stede. Smitten formodes at komme fra de store arktiske sælbestande, hvor virusset cirkulerer, uden at sælerne ser ud til at dø af det. En teori er, at gråsæler, der bevæger sig meget mere omkring end spættet sæl, muligvis smittes længere nordpå og bringer smitten sydpå, hvor de spættede sæler lever. Ingen af de ovenstående epidemier ser ud til at have været dødelig for gråsælerne, selvom det er påvist, at de blev smittet af PDV i 1988 og 2002 (Härkönen m.fl. 2006; Härkönen m.fl. 2007a). Effekten af epidemierne på antallet af spættede sæler forventes at vare 5-10 år fra smittetidspunktet afhængig af den enkelte bestands størrelse (Olsen m.fl. 2010).

Den totale bestand af spættet sæl i Danmark (sæler talt på hvilepladserne plus den andel af sæler, der antages at være i vandet under optællingen) har udviklet sig fra ca. 2.000 dyr i 1976 til ca. 17.000 dyr i 2015 (figur 10.3). Bestandsfremgangen tilskrives jagtfredningen af arten i 1977 samt oprettelsen af en række sælreservater i de følgende år med adgangsforbud og derfor god ungeoverlevelse (Jepsen 2005).

Figur 10.3. Det totale antal spættet sæl i Danmark i perioden 1976-2015 – opgjort ud fra tællinger på landgangspladser samt den gennemsnitlige andel af sæler i vandet (32 % i Vadehavet - *Ries m.fl.* 1998, 43 % i øvrige farvande - *Härkönen m.fl.* 1999). I perioden 1976-1978 blev antallet estimeret ud fra forskellige typer tællinger, som ikke er standardiserede. De fire epidemier i 1988, 2002, 2007 og 2014 er angivet med cirkler.

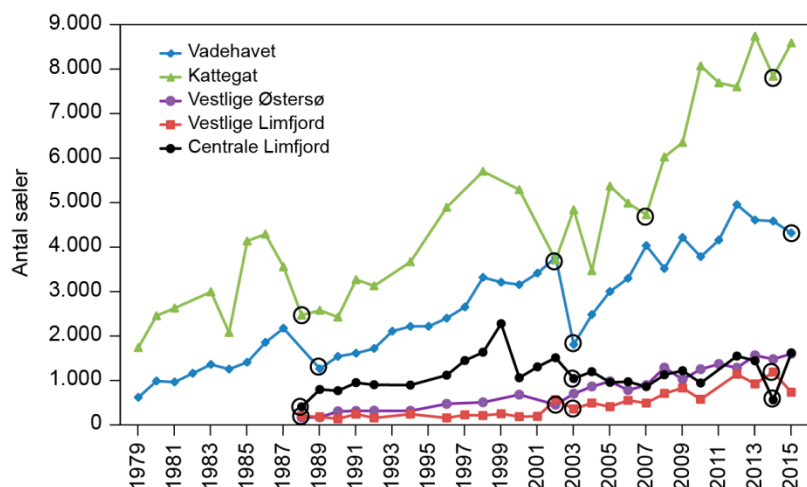


Det er uvist, i hvilket omfang de senere års fremgang for gråsæl vil påvirke de spættede sæler (se omtale af gråsæler længere fremme). Da gråsælen imidlertid er større og mere aggressiv, samtidig med at der er et stort overlap mellem arternes fødepræferencer og landgangspladser, er en negativ påvirkning af antallet af spættede sæler en mulighed.

Vadehavet

Bestanden i Vadehavet er spredt over hele Vadehavets kystlinje og deles således med Tyskland og Holland. I forbindelse med fældningen i august 2015 estimeredes bestanden i den danske del af Vadehavet til at være 4.300 spættede sæler, lidt færre end i 2014 (*figur 10.4*). Nedgangen skal ses i lyset af, at tællingen er den første i Vadehavet siden fugleinfluenzaen ramte området i efteråret 2014. PDV-epidemier i 1988 og 2002 ramte sælerne i Vadehavet hårdt, eftersom omkring halvdelen af sælerne i området døde ved hver af epidemierne. Siden epidemien i 2002 er bestanden i Vadehavet vokset med 9 % om året i gennemsnit, lidt lavere end den teoretisk maksimale vækstrate for populationer af spættet sæl (12 %, *Härkönen m.fl.* 2002). Siden 2006 har vækstraten dog kun været 4 %; den aftagende tilvækst kunne tyde på migration til andre områder eller begrænsninger grundet føde- eller pladsmangel. Der blev i 2015 talt 686 unger i ynglesæsonen i den danske del af Vadehavet, hvilket er 5 % flere end i 2014 og højere end alle tidligere tællinger.

Figur 10.4. Antal spættet sæl i Danmark delt op på bestandene i Vadehavet, vestlige og centrale Limfjord, Kattegat og den vestlige Østersø i perioden 1979-2015 – opgjort ud fra tællinger på landgangspladser samt den gennemsnitlige andel af sæler i vandet (32 % i Vadehavet - *Ries m.fl.* 1998, 43 % i øvrige farvande - *Härkönen m.fl.* 1999). Den første optælling efter epidemierne i 1988, 2002, 2007 og 2014 er markeret med cirkler.



Limfjorden

Spættet sæl i Limfjorden består af to forskellige bestande (Olsen *m.fl.* 2014). Det er sandsynligt, at den selvstændige population i de centrale bredninger består af sæler, der har været i Limfjorden, før forbindelsen til Nordsøen sandede til omkring år 1100. Der opstod igen forbindelse mellem Limfjorden og Nordsøen ved Agger Tange under stormfloden i 1825, og i Nissum Bredning i den vestlige Limfjord lever en bestand, der genetisk minder om en blanding af sælerne i de centrale bredninger og Vadehavet. Satellitsporinger har også vist en sammenhæng mellem Vadehavet og den vestlige Limfjord. Der har været store udsving i antallet af spættede sæler i Limfjorden, og overordnet har der ikke, som i de andre områder, været en entydig vækst i bestanden over de seneste 10 år (*figur 10.4*). Dette skyldes formentlig, at antallet af sæler har nået bæreevnen for området, så sælerne er begrænset af føde og plads, eller at økosystemet er ustabilt, og sælerne derfor forlader Limfjorden i perioder. I 2015 blev bestanden estimeret til at bestå af 2.350 spættede sæler (730 i den vestlige del og 1620 i den centrale del), hvilket er 34 % flere end opgjort i 2014. Dette er en dramatisk fremgang, men tallene for Limfjorden kan som sagt fluktuere en del. Fremgangen i 2015 kommer ovenpå en tilsvarende tilbagegang i 2014 og er et tegn på, at sælbestanden i området enten ikke blev så hårdt ramt af fugleinfluenzaen i 2014 eller, at der er sket en indvandring fra den vestlige Limfjord/Vadehavet, hvor der blev talt færre sæler i 2015.

Kattegat

I den danske del af Kattegat estimeredes antallet af spættet sæl i forbindelse med optællingen under fældningen i august 2015 til at være 8.600 – en fremgang på 10 % i forhold til 2014 (*figur 10.4*). Fremgangen svarer til tilbagegangen i 2014 og indikerer, at fugleinfluenzaen ikke ramte så hårdt, som først antaget. Siden PDV-epidemien i 2002 er bestanden vokset med gennemsnitligt 7 % om året. I perioden 2011-2014 taltes mellem 14 og 24 % af den estimerede bestand i den danske del af Kattegat. I 2015 taltes 1.865 unger svarende til 22 % af den estimerede bestand. Det talte antal unger er et minimumsestimat af årets ungeproduktion, da ungerne fødes over en længere periode og ikke er på land samtidig. Desuden er der i opgørelsen af antal unger anvendt korrektionsfaktor for voksne i vandet, som ikke nødvendigvis gælder for unger. For at kunne lave fortolkninger angående udvikling i bestandens demografi, og de faktorer der påvirker ungeproduktionen, er der behov for en længere tidsserie.

Vestlige Østersø

I den vestlige Østersø forekommer mange mindre kolonier spredt over et stort område. Det betyder, at de enkelte kolonier kan være sårbare over for forandringer såsom forstyrrelser og epidemier, specielt hvis der ikke er nogen fast udveksling af sæler mellem kolonierne. Der blev ikke registreret forhøjet dødelighed i 2014, så fugleinfluenzaen ramte formentlig ikke dette område. I 2015 blev bestanden estimeret til ca. 1.600 individer, en fremgang på 8 % i forhold til 2014 (*figur 10.4*). Efter epidemien i 2002 var estimatet 450 individer; siden har den gennemsnitlige årlige vækstrate været 12 %. Samtidig med denne høje tilvækst har den vestlige Østersø oplevet en kraftig vækst i antallet af gråsæler i de senere år (se herunder). Gråsælerne har dog indtil videre ikke haft nogen negativ effekt på antallet af spættet sæl i området.

Gråsæl

Nationalt

Gråsælen svømmer meget mere omkring end spættet sæl og kan findes i hele Østersø- og Nordsøregionen. Gråsælen udnytter mange af de samme uforstyrrede yngle-/hvilepladser som spættet sæl. Gråsælen var frem til 1800-tallet en almindelig og udbredt sælart i de danske farvande og yngede frem til omkring år 1900 ved de danske kyster. Efter at have været udryddet i

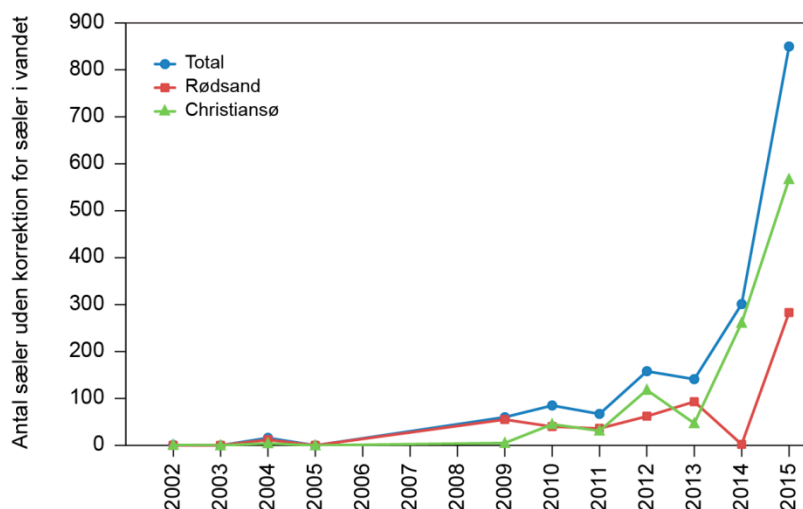
Danmark i ca. 100 år er gråsælen i løbet af de sidste 15 år genindvandret og forekommer nu regelmæssigt på lokaliteter i Kattegat, Østersøen og Vadehavet. På Rødsand ved Gedser er der siden 2003 observeret årlige fødsler, og der er i de senere år også observeret yngleforsøg på Søndre Rønner, Borfeld, Anholt og i Vadehavet (*Härkönen m.fl. 2007b; Jensen m.fl. 2015*). I Danmark lever to adskilte bestande af gråsæler, den ene i Nordsøen med hovedudbredelse omkring Storbritannien og i det tyske og hollandske Vadehav og den anden i Østersøen med hovedudbredelse omkring Stockholm, Estland og det sydlige Finland (*Härkönen m.fl. 2007b*). I Kattegat forekommer sæler fra begge bestande. Flertallet af genetiske prøver indsamlet i Kattegat repræsenterer sæler fra Nordsøen (*Fietz m.fl. i trykken*), mens de registrerede fødsler i Kattegat og ved Rødsand tilhører Østersø-bestanden.

Satellitsporing og genetiske undersøgelser har vist, at gråsælerne i den danske del af Østersøen er en del af Østersø-bestanden, der deles med Finland, Estland og Sverige (*Dietz m.fl. 2003; Dietz m.fl. 2015; Fietz m.fl. i trykken*).

Østersøen

Der er i den vestlige Østersø udført forsøgsvis optællinger i gråsælernes fældeperiode fra slutningen af maj til starten af juni i 2002-2005, her blev talt fra 0 til 12 individer (*figur 10.5*). Ved flyovervågning i 2009 og 2010 blev der talt hhv. 67 og 41 gråsæler. Christiansø har de største forekomster af gråsæl i Danmark, og i 2011-2014 blev 33- 99 % af gråsælerne i Danmark registreret her. I 2015 blev der talt 850 gråsæler i den danske Østersø, heraf 567 på Christiansø. Dette er næsten en tredobling af de 301 gråsæler, der blev talt i Danmark i 2014.

Figur 10.5. Antal talte gråsæler i den danske del af Østersøen i perioden 2002-2015 – opgjort ud fra flytællinger på hvilepladserne i fældeperioden fra slutningen af maj til starten af juni (tal angiver faktiske tællinger, da man ikke kender andelen af sæler i vandet). For Christiansø er tællingerne for perioden 2002-2010 foretaget med teleskop fra land, mens de fra 2011 blev foretaget fra fly.



Kattegat

I Kattegat blev der fra 1979 til 2006 observeret færre end 10 gråsæler i forbindelse med overvågning af spættede sæler i august. I 2007 og 2008 blev der for første gang registreret et større antal, henholdsvis 32 og 68 gråsæler på Læsø og Anholt i august. Fra 2010 er der hvert år foretaget flyvninger i perioden omkring 1. marts for at registrere gråsælsfødsler. I den forbindelse blev der på Borfeld nord for Læsø set mellem 29 og 76 gråsæler i perioden 2010-2014. Det højeste antal observeret i Kattegat i 2015 var i februar, hvor der tæltes 111 individer.

Optællinger af fældende gråsæler indledtes i 2015, hvor der i april taltes 164 individer i Vadehavet. I forbindelse med de årlige optællinger af spættet sæl i juni og august blev forekomsten af gråsæl også registreret. Det maksimale antal observerede sæler viste en stabil fremgang fra 13 gråsæler i 2006 til 86 gråsæler i 2015.

Gråsælunger

Fra og med 2003 til 2014 er der årligt observeret op til fem levende gråsælunger i februar-marts på danske lokaliteter. I 2008 blev der i marts for første gang set en levende gråsælunge i Kattegat ved Sønder Rønner, Læsø. I 2013 fødtes to unger på Borfeld ved Læsø, og i december 2014 blev den første gråsælunge født i Vadehavet registreret. I 2015 blev der i de indre farvande registreret i alt seks gråsælsfødsler – fire på Rødsand, en på Borfeld nord for Læsø og en på Totten, Anholt. For Tottens vedkommende er det den første registrerede fødsel siden artens genindvandring. Der blev ikke registreret unger i Vadehavet i 2015. Disse observationer viser, at gråsælen nu igen (efter ca. hundrede års pause) yngler regelmæssigt på stadig flere lokaliteter i Danmark.

Stigningen i antallet af gråsæler over hele landet i de seneste år kan ikke forklares med den beskedne reproduktion fra danske ynglende gråsæler. Stigningen må derfor skyldes et skift i udbredelsen af gråsæler fra den nordlige del af Østersøen til den sydlige del og et skift nordpå fra Holland og Tyskland til den danske del af Vadehavet. Det er uvist, hvor Nordsø-gråsælerne i Kattegat kommer fra. Årsagen til ændringen i udbredelsen er muligvis bedre fødetilgang eller pladsmangel på deres foretrukne lokaliteter i andre lande. Med de få fødsler, der registreres i Danmark, er bestanden af ynglende danske gråsæler formentlig maksimalt 20 individer. De fleste gråsæler i danske farvande er altså kun på visit og formodes at returnere til deres oprindelige fødested, når de selv skal yngle.

Marsvin

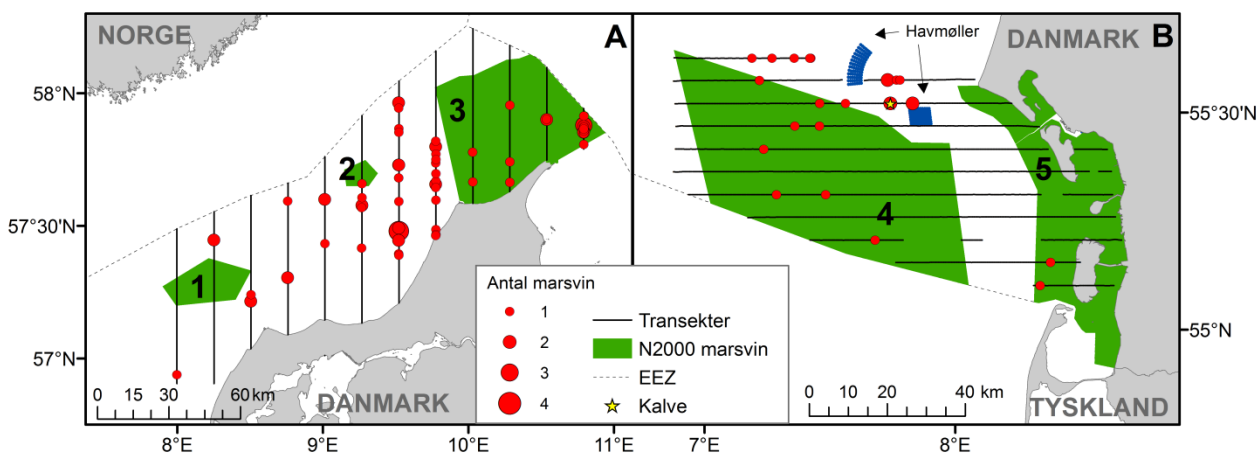
Marsvinet er Danmarks mest almindelige hval, og den eneste der med sikkerhed yngler her. Baseret på studier af morfologi, genetik og satellitmærkning opdeles marsvin i de danske farvande i minimum tre populationer: 1) Østersøen fra omkring Bornholm og østover, 2) de indre danske farvande (inkl. Bælthavet, Øresund, sydlige Kattegat og vestlige Østersø) og 3) nordlige Kattegat, Skagerrak og Nordsøen.

Bestanden af marsvin i Østersøen er erklæret 'kritisk truet' af IUCN (International Union for Conservation of Nature). Bestanden af marsvin i Nordsøen er muligvis opdelt i flere populationer. I forvaltningssammenhæng er det vigtigt at administrere hver population separat, da de har forskellig bevaringsstatus og er udsat for forskellige trusler.

Den største trussel mod marsvin menes at være utilsigtet bifangst i fiskegarn. Der findes ingen nyere studier af problematikken, men fra 1987-2001 druknede gennemsnitligt 5.900 marsvin årligt blot i det danske garnfiskeri i Nordsøen (Vinther & Larsen 2004). Udover bifangst, kan undervandsstøj, habitatdestruktion, fødemangel som følge af overfiskning og forurening også have negativ indflydelse på marsvins udbredelse og sundhedstilstand.

Marsvin har store udbredelsesområder, der strækker sig ud over grænserne for de udpegede habitatområder, og overvågningen skal derfor ikke blot inkludere habitatområderne, men hele marsvinets udbredelsesområde.

Flyoptællingen i Skagerrak/nordlige Nordsø blev udført 13. august 2015 (figur 10.6, tabel 10.1). I alt observeredes 85 marsvin fordelt i grupper med op til 4 individer i hver gruppe. Den gennemsnitlige gruppestørrelse var 1,32.



Figur 10.6. Optælling af marsvin fra fly i A) Skagerrak/Nordlige Nordsø d. 13. august 2015 og B) sydlige Nordsøen 2. august 2015. Numre indikerer N2000-områder: 1) Gule Rev, 2) Store Rev, 3) Skagens Gren og Skagerrak, 4) sydlige Nordsø og 5) Vadehavet med Ribe Å, Tved Å og Varde Å vest for Varde. EEZ (Exclusive Economic Zone) angiver afgrænsningen af de danske farvandsområder.

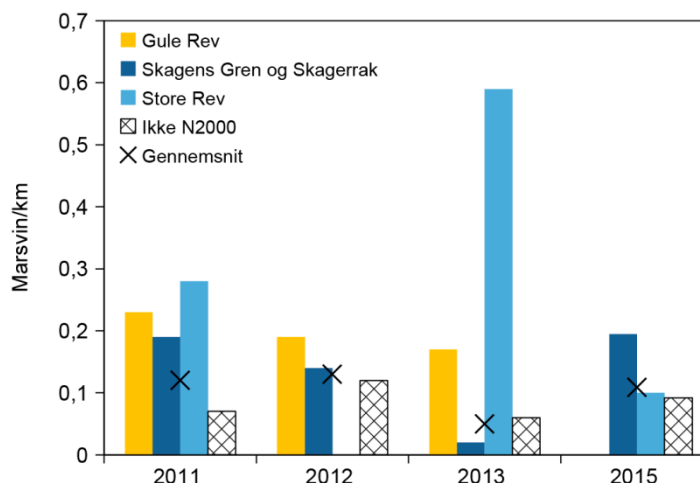
Af de tre N2000-områder var tætheden af marsvin (antal observationer pr. km) størst inden for 'Skagens Gren og Skagerrak' med 0,19 marsvin/km og lavest i Gule Rev og Store Rev, hvor der observeredes hhv. 1 og 0 marsvin. Effort er relativ lille i disse to områder, hvilket betyder, at variationen forårsaget af enkeltobservationer bliver meget stor årene imellem (figur 10.7).

Den gennemsnitlige tæthed for Skagerrak/nordlige Nordsø (0,11) er sammenlignelig med tidligere optællinger i 2011 og 2012 og væsentligt højere end gennemsnittet for 2013.

Tabel 10.1. Oversigt over effort (= fløjet transekt), observationer og tæthed for flyoptælling foretaget 13. august 2015 i Skagerrak/nordlige Nordsø.

Område	Effort (km)	Antal individer	Marsvin/km
Gule Rev	30	0	0,00
Skagens Gren og Skagerrak	154	30	0,19
Store Rev	10	1	0,10
Ikke N2000	588	54	0,09
Gennemsnit	782	85	0,11

Figur 10.7. Antal marsvin observeret pr. fløjet km i og uden for N2000-områder observeret under flyovervågning i Skagerrak/nordlige Nordsø 2011-2015.



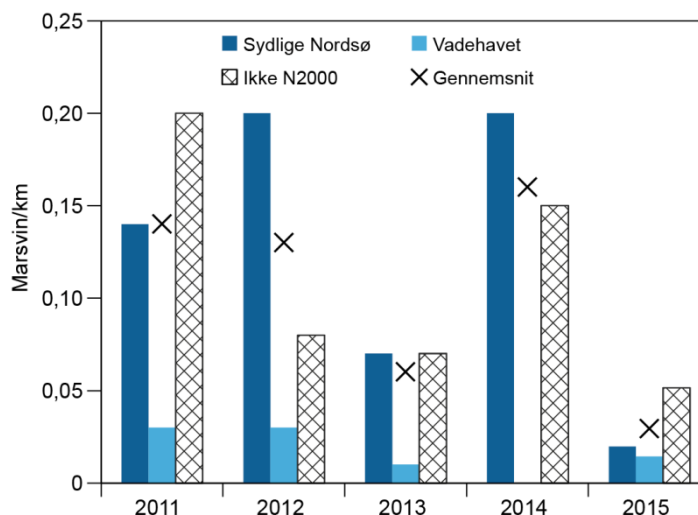
Flyoptællingen i den sydlige Nordsø blev udført 2. august 2015 (*figur 10.6*). I alt observeredes 24 marsvin fordelt i grupper med op til to individer i hver og en gennemsnitlig gruppestørrelse på 1,18.

Antallet af observerede marsvin under Nordsø-optællingen er den laveste siden optællingen begyndte i 2011 med en gennemsnitlig tæthed på 0,03 marsvin pr. fløjet km (*tabel 10.2*). Niveauet er dog sammenligneligt med optællingen i 2013, men væsentligt lavere end i 2011, 2012 og 2014 (*figur 10.8*). Den højeste tæthed blev observeret nord for N2000-området 'Sydlig Nordsø' mellem havmølleparkerne ved Horns Rev. I dette område blev der alle år observeret en del marsvin, hvilket indikerer, at området er af stabil betydning for marsvin i en del af ynglesæsonen (juli-august). Antallet af observationer i 'Vadehavet' har været lavt alle år (2011-2015), hvilket indikerer, at området har relativ lille betydning for marsvin i juli og august, og at tætheden af marsvin er større uden for habitatområdet.

Tabel 10.2. Oversigt over effort (= fløjet transekt), observationer og tæthed for flyoptælling foretaget 2. august 2015 i den sydlige Nordsø. Antal individer inkluderer kalve.

Område	Effort (km)	Antal individer	Heraf kalve	Marsvin/km
Sydlig Nordsø	405	8	0	0,02
Vadehavet	139	2	0	0,01
Ikke N2000	272	14	1	0,05
Total	816	24	1	0,03

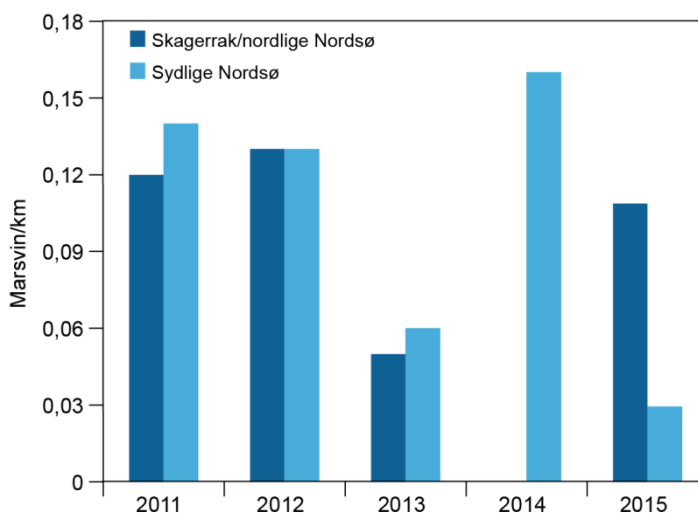
Figur 10.8. Antal marsvin observeret pr. fløjet km i og uden for N2000-områder observeret under flyovervågning i Nordsøen 2011-2015.



Den store variation imellem optællingerne indikerer, at marsvins brug af både Sydlig Nordsø og området omkring Horns Rev er korreleret med faktorer, der varierer mellem år, fx mængden af byttedyr. Marsvin i Nordsøen lever hovedsageligt af torskefisk (*Aarefjord m.fl. 1995*), men det er ikke undersøgt, om variationen i fordeling af torskefisk stemmer overens med den observerede marsvinefordeling mellem årene.

Fluktuationer i den gennemsnitlige tæthed i Skagerrak og Nordsøen har indtil 2013 været sammenlignelig (der blev ikke flyovervåget i Skagerrak i 2014) (figur 10.9). I 2015 ses imidlertid ikke samme nedgang i Skagerrak, som i den sydlige Nordsø. Marsvinene i begge områder menes at tilhøre samme Nordsøpopulation, og det er derfor sandsynligt, at marsvinene flytter sig rundt efter de bedst mulige leveforhold. Fordelingen kan derfor skyldes bedre fourageringsmuligheder i Skagerrak end i Nordsøen i august 2015.

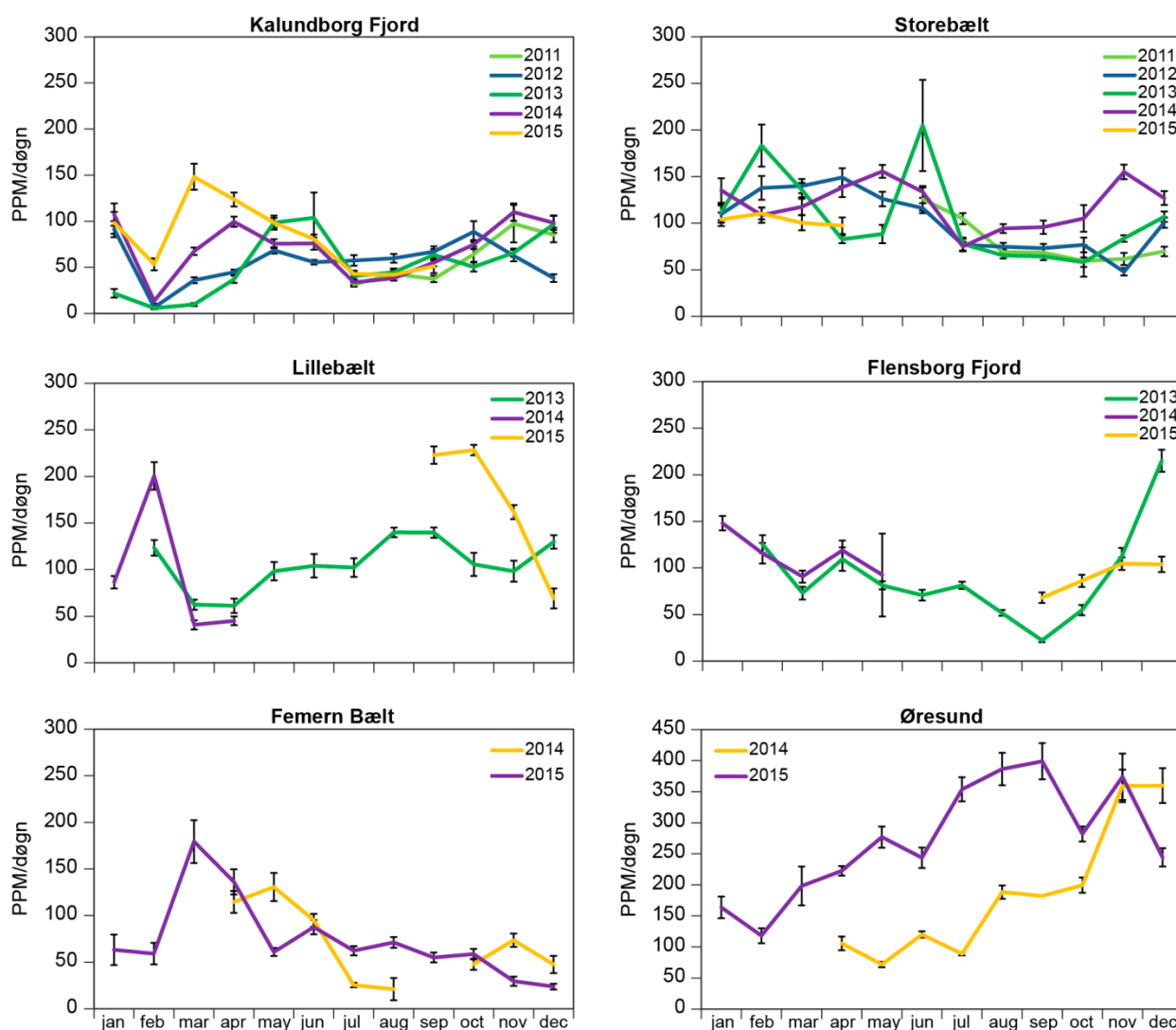
Figur 10.9. Antal marsvin observeret pr. fløjet km under NO-VANA-overvågningen i hhv. Skagerrak/nordlige Nordsø og den sydlige Nordsø.



Passiv akustisk monitorering

Overvågning af marsvin med passiv akustisk monitorering giver et bedre billede af marsvins brug af et område over tid end andre metoder, da monitoreringen foregår dag og nat gennem hele året.

Resultaterne viser, at gennemsnitligt PPM/døgn pr. måned varierede mellem positioner og måneder i de seks overvågningsområder, men generelt lå på niveauer mellem 0 og 250 PPM/døgn med undtagelse i det nordlige Øresund, hvor der i november og december 2014 og igen fra maj 2015 og året ud i gennemsnit registreredes over 350 PPM/døgn (figur 10.10).



Figur 10.10. Gennemsnit af marsvinepositive minutter pr. døgn (PPM) fordelt på måneder for de fem akustiske lytteposter i seks N2000-områder i de indre danske farvande 2011-2015. Vertikale linjer indikerer standardafvigelse fra middelværdien. Bemærk højere y-akse på Øresund-grafen.

I Kalundborg Fjord og Storebælt er overvågningen inden for den seksårige NOVANA-periode nu afsluttet, og status for marsvin i disse to områder evalueres i dette års rapport. I de resterende fire områder afventes data fra 2016, før de endelige statusvurderinger kan foretages.

I Kalundborg Fjord var der en relativ lille variation mellem årene. Her detekteres alle år meget få marsvin i februar efterfulgt af en stigning henover foråret. Fra juli til september var der igen få marsvin, mens antallet steg i perioden oktober til januar. Højeste tæthed blev registreret i marts 2015. Den lille variation mellem årene indikerer, at marsvins brug af N2000-området i Kalundborg Fjord var stabil.

I Storebælt var variationen mellem år ligeledes lille med undtagelse af 2013, hvor perioden februar til juni adskilte sig fra de andre år ved at have mange registreringer i februar og juni og få registreringer i april og maj. Derudover var der i 2014 flere marsvin i perioden august til november end i andre år. I Storebælt varierede antallet af marsvineregistreringer også over året. Generelt var der flest fra januar til juni og færrest fra juli og året ud (med undta-

gelse af 2014). Som i Kalundborg Fjord indikerer den begrænsede variation mellem årene, at marsvins brug af N2000-området i Storebælt var stabil.

I de resterende fire områder sås ligeledes en variation i registreringerne af marsvin både over året (sæsoner) og imellem år. Lillebælt havde flest om efteråret og i februar, Flensborg Fjord havde flest registreringer fra november til maj, Femern Bælt havde flest registreringer om foråret og Øresund havde flest sommer og efterår. Størst variation imellem årene sås om efteråret i Lillebælt og fra april til september i Øresund.

Sammenfatning

- Fra 1976 til 2010 har overvågningen af marine pattedyr i danske farvande haft fokus på spættet sæl. Fra 2011 er både gråsæl og marsvin en integreret del af det nationale overvågningsprogram (NOVANA).
- Spættet sæl er den mest almindelige sælart i Danmark og har haft en bestandsfremgang fra ca. 2.000 dyr i 1976 til ca. 17.000 dyr i 2015, hovedsageligt som følge af jagtfredningen i 1977 samt oprettelsen af en række sælreservater med adgangsforbud.
- Spættet sæl er opdelt i fire populationer: Vadehavet, Kattegat, den vestlige Østersø og Limfjorden med vækstrater, siden epidemien i 2002, for de første tre områder på henholdsvis 9 %, 7 % og 12 %. I Limfjorden var der store fluktuationer, der tyder på ind- og udvandring til og fra området, og at sælerne har nået den økologiske bæreevne for området.
- Gråsælen har vist fremgang i de seneste 10 år, og i 2015 blev der registreret op til 111 individer i Kattegat, 164 i Vadehavet og 850 i den danske del af Østersøen. Det forventes, at den generelle stigning i antallet fortsætter i alle områder i de kommende år.
- Op til seks gråsæler fødes nu hvert år i Danmark (første fødsel i 2003) efter ca. hundrede års pause.
- Ved flyoptællinger i den sydlige Nordsø og Skagerrak/nordlige Nordsø observeredes tætheder på hhv. 0,03 marsvin/km (24 individer) og 0,11 marsvin/km (85 individer). De observerede tætheder på 0,03 marsvin/km i Nordsøen er den laveste tæthed observeret siden tællingerne startede i 2011. I Skagerrak svarer tætheden til tidligere tællinger. Den store variation imellem optællingerne indikerer, at marsvins brug af N2000-områderne i Nordsøen og Skagerrak afhænger af faktorer, der varierer mellem år, fx mængden af byttedyr.
- Passiv akustisk monitorering i Storebælt, Kalundborg Fjord, Lillebælt, Flensborg Fjord, Femern Bælt og nordlige Øresund viste, at marsvin var til stede i alle områder, men at tætheden varierede over året. I Kalundborg Fjord og Storebælt er overvågningen inden for den seksårige NOVANA-periode nu afsluttet. I begge områder var der kun en relativt lille variation imellem år. Dette indikerer, at marsvins brug af områderne er stabil.

11 Miljøfarlige stoffer og biologiske effekter

Martin M. Larsen & Jakob Strand

Alle miljøfarlige stoffer i det nationale overvågningsprogram (NOVANA) er udvalgt på baggrund af viden om deres forekomst og potentiale for skadelige effekter i det marine miljø. Mange af disse stoffer kan påvirke dyrs vækst, reproduktion, adfærd eller på anden måde nedsætte deres overlevelsessevne. En del af stofferne er også sat i forbindelse med fx hormonforstyrrende effekter.

I kapitlet anvendes en del forkortelser for stoffer, miljøkvalitetskriterier og konventioner. Der er derfor bagerst i kapitlet indsat en liste med en udspecificering af de anvendte forkortelser.

Metoder og datagrundlag

Overvågning i 2015

Den marine overvågning omfatter både analyser af indholdet af tungmetaller og en række organiske miljøfremmede stoffer i sediment, muslinger og/eller fisk, se *tabel 11.1*. Derudover er der undersøgelser for forskellige biologiske effektindikatorer i havsnegle, muslinger og fisk. Data er indsamlet efter retningslinjerne i de tekniske anvisninger for overvågning af miljøfarlige stoffer i sediment, muslinger og fisk (*Larsen 2013a, b, c*) samt af biologiske effekter i havsnegle, muslinger og fisk (*Strand 2013a, b; Strand & Dahllöf 2013*). I forbindelse med overgangen til en ny programperiode i 2011 skete der en mindre justering af stoflisten (dvs. parametre og matricer), som analyseres i NOVANA. NOVANA-temarapporten om miljøfremmede stoffer og tungmetaller *Boutrup m.fl. (2015)* indeholder en behandling af data fra 2004 til 2012. Der er i 2015 i alt taget 58 prøver på 48 stationer af muslinger, dvs. på 8 stationer er der udtaget to eller tre delprøver. NST-enhederne har i 2015 udtaget prøver fra fladfisk på fire stationer til analyse, herudover har DCE udtaget prøver på en fladfiskestation og to ålekvabbestationer. Der er i 2015 udtaget prøver på 16 sedimentstationer i det normale NOVANA-program på kystnære (vandrammedirektiv) stationer. Herudover er der udtaget sedimentprøver på 10 stationer i den åbne del af Nordsøen som basis for bedømmelse i forhold til havstrategidirektivet. Prøverne fra Nordsøen er behandlet som de sædvanlige NOVANA-prøver, men er analyseret for et større udvalg af dioxinlignende PCB'er.

Undersøgelse af sediment, muslinger (blåmusling eller sandmusling) og fisk (ålekvabbe, skrubbe eller rødspætte) udføres en gang årligt, men ikke alle stoffer måles hvert år på alle stationer og i alle organismer og matricer. Hvor der i muslinger måles på puljede prøver af hele bløddele, så analyseres stofferne i fisk i puljede prøver af udvalgte organer, dvs. i lever (metaller, TBT, PFAS, PCB, klorerede pesticider) eller muskel/filet (kviksølv, PBDE, dioxiner). For ålekvabber er hanner foretrukket, fordi hunnerne hvert år reducerer deres



Åbnede blåmuslinger, som indgår som prøvemateriale til brug for analyser af miljøfarlige stoffer.
Foto: Jakob Strand.

indhold af organiske forureninger i forbindelse med deres reproduktion, hvor en stor del af deres belastning bliver overført til ungerne (*Dahllöf m.fl.* 2011). Fra sediment udtages prøve fra den øverste centimeter, og der analyseres på den partikelfraktion, som er mindre end 2 mm. I modsætning til organismer, som typisk afspejler påvirkningen de seneste uger/måneder, vil den øverste cm af sediment (mm i Vadehavet) typisk repræsentere de sidste 3-7 års påvirkning. Derfor blev sedimentprøver i de første overvågningsprogrammer udtaget med 3-5 års interval, mens der i det nuværende NOVANA-program udtages sedimentprøver hvert år, men på forskellige stationer.

Tabel 11.1. Oversigt over stofgrupper som er analyseret i marine miljøprøver som en del af NOVANA-programmet i 2015.

Stofgruppe	Sediment	Muslinger	Fisk
Tungmetaller ¹	X	X	X
Organotinforbindelser (bl.a. TBT)	X	X	(X) ⁴
Tjærestoffer (PAH'er) ²	X	X	-
Phthalater og alkylphenoler	X	-	-
Dioxin, furaner og dioxinlignende PCB'er	X	(X) ⁵	X
Klorerede pesticider og alm. PCB'er	-	-	X
Bromerede flammehæmmere ³	-	-	X
Perfluorerede alkylerede stoffer (PFAS)	-	-	X

¹ Kviksølv (Hg), cadmium (Cd), bly (Pb), kobber (Cu), nikkel (Ni), krom (Cr), arsen (As), zink (Zn). Desuden sølv (Ag) i muslinger, da stoffet indgår i EU's skaldyrskontrol.

² Polyaromatiske (3-7 aromatringer) og aromatiske (naphtalen) hydrocarboner/kulbrinter.

³ PBDE og HCBDD.

⁴ Kun i ålekvabber, for 2015 to stationer.

⁵ I 7-9 udvalgte prøver årligt.

I tillæg til de kemiske målinger er der også undersøgt for forskellige biologiske indikatorer på nogle udvalgte stationer for at vurdere, i hvilket omfang de miljøfarlige stoffer også giver sig udslag i direkte målbare effekter på dyrelivet i de danske farvande. I perioden 2011-2013 blev der undersøgt for biologiske effekter på 12 stationer med blåmusling og ålekvabbe, og siden 2014 på to stationer med blåmusling og ålekvabbe. De anvendte effektindikatorer er lysosomal membranstabilitet for blåmuslinger, og CYP1A-aktivitet, PAH-metabolitter i galde og reproduktiv succes for ålekvabber. Desuden bliver der også hvert andet år (ulige år) undersøgt for imposex i havsneglene rød-konk og almindelig konk, som bliver indsamlet i de åbne farvande. Imposex er en måde, hvorved unaturlige hormonforstyrrelser kommer synligt til udtryk ved tegn på tvekönnethed i ellers særkønnede havsnegle. Imposex kan anvendes som miljøindikator for skadelige effekter forårsaget af tributyltin (TBT), som tidligere har været et udbredt anvendt antibegroningsmiddel i bundmalinger til skibe. Hunnerne begynder gradvist at udvikle irreversible hanlige køns karakterer, der i værste fald kan medføre sterilitet og dermed have stor betydning for populationerne. Graden af imposex i en population af snegle fra et område beskrives med indekssværdien Vas Deferens Sekvens Indeks (VDSI), som er en gennemsnitsværdi af alle observerede imposexstadier. De forskellige arter er ikke lige følsomme over for udvikling af de TBT-inducerede hormonforstyrrelser. Rødkonk og purpursnegl er nogle af de mest følsomme arter, mens almindelig konk tilhører de mindre følsomme arter. Der er i 2015 blevet undersøgt 215 rødkonk og 414 almindelige konk fra 12 stationer fordelt på Nordsøen, Skagerrak, Kattegat, Øresund og Storebælt. Rødkonk blev dog ikke fundet i Nordsøen i 2015. Derudover er der også undersøgt purpursnegl indsamlet på Skagens Gren. Det har kun været muligt at rapportere effektdata for imposex for 2015 pga. problemer med databasen til brug for indrapportering og kvalitetssikring af de andre effektdata,

som derfor vil blive afrapporteret sammen med næste års data i 2016 rapporten.

Baggrund for analyser af tungmetaller

De analyserede metaller forekommer alle naturligt i havmiljøet med et såkaldt baggrundsniveau. Ved forhøjede niveauer er alle tungmetaller skadelige for organismer i vandmiljøet. Menneskeskabt forurening kan give forhøjede værdier både gennem diffus- og punktkildeforurening. Cd og Hg er begge giftige i meget lave koncentrationer for de fleste former af liv og opkoncentreres bl.a. i lever. Hverken Cd, Hg eller Pb har nogen kendt nyttevirkning i organismer. Ni, Cu og Zn er nødvendige mikronæringsstoffer, dog med snævre grænser mellem nytte- og skadevirkning. Muslinger anvendes som generel indikator for belastningen med miljøfarlige stoffer som fx tungmetaller i havmiljøet, da de generelt opkoncentrerer miljøfarlige stoffer i forhold til de koncentrationer, der findes i havvand. Derved repræsenterer koncentrationen i muslinger typisk et integreret niveau for stationen over de sidste dage til måneder afhængig af hvilket stof, der måles. Muslinger er desuden velegnede som indikatorer, da de er stationære og mangler kapacitet til at nedbryde de fleste organiske miljøfremmede stoffer (se nedenfor). Udover muslinger analyseres der også på fisk, så det kan vurderes, i hvilket omfang der sker en ophobning, som i sidste ende kan udgøre en risiko for de øverste led i fødekæden. De bundlevende fisk ålekvalde, rødspætte og skrubbe er valgt som gode områdespecifikke monitoringsorganismer i kystnære områder, fordi de er mere stationære sammenlignet med mere pelagiske fisk som torsk og sild.

I sediment er der et naturligt indhold af metaller, der afhænger af sedimenttypen. For finkornede sedimenter stammer en del af metalindholdet fra det geologiske materiale, hvorimod der i sandede sedimenter stort set ikke naturligt er metaller. Mineralerne i det finkornede sediment indeholder naturligt lithium (Li) og aluminium (Al), som ikke stammer fra menneskelig påvirkning, og Li og Al kan derfor anvendes som indikator for indholdet af finkornede partikler (Loring 1990). Normaliseringsmetoden anvendt inden for den nordatlantiske havkonvention OSPAR (Oslo-Paris konventionen) er beskrevet i detaljer i rapporten *Marine Områder 2003 (Ærtebjerg m.fl. 2004)*. Det finkornede materiale, specielt ler, har en meget større overflade med netto negativ ladning, der tiltrækker de fleste opløste metaller. Det betyder, at forurening med metaller fanges på ler, men ikke på sand, så lerede sedimenter dermed får et endnu højere indhold af metaller end det naturlige, forhøjede indhold i mineralerne i sandede sedimenter. For at sammenligne områder er det derfor nødvendigt at normalisere til samme indhold af finkornet materiale (dvs. Li eller Al) for at undgå fortynding af det forurenende indhold med sand. Mange organiske forureninger bindes også til det finkornede sediment, og anbefalingen til prøvetagning er, at der skal indsamles i sedimentationsområder, dvs. områder med finkornet sediment frem for sandede områder, der ofte omlejres og derfor ikke er repræsentative for området, der prøvetages fra.

Baggrund for analyser af organiske miljøfremmede stoffer

Muslinger og sediment analyseres for forskellige forbindelser indeholdende organotin, herunder antibegroningsmidlet tributyltin (TBT), samt tjærestoffer (PAH), som kommer fra forbrænding og oliespild. Udover PAH'er analyseres også for naphthalen, som er en to-ringet aromatisk hydrocarbon og derfor ikke en egentlig poly-aromatisk hydrocarbon (PAH), da de er defineret som havende mindst tre aromatiske ringe. Naphthalen har samme kilder

som PAH'erne og behandles derfor sammen med dem. Der analyseres for dioxiner og dioxinlignende forbindelser i fisk, sediment og i syv udvalgte muslingeprøver fra syv stationer. De dioxinlignende forbindelser omfatter furaner og de mere dioxinlignende coplanare polychlorerede biphenyler (PCB'er). Dioxiner og furaner dannes bl.a. ved afbrænding af plastmaterialer, hvorimod PCB kommer fra den tidligere udbredte anvendelse som flammehæmmer i bl.a. transformatorolie og fugematerialer. De individuelle dioxinlignende forbindelser (congener) har forskellig giftighed, men den samlede belastning af de dioxinlignende forbindelser kan omregnes til en samlet giftighed kaldet en tox-ekvivalent (TEQ) i henhold til World Health Organization (WHO 2005). I sedimenter analyseres desuden for forskellige blødgørere (phthalater) og alkylphenoler (nonyl- og octylphenoler), der dels anvendes i plastprodukter som stabilisator, dels som detergent i en række industrielle produkter.

I fisk analyseres for de forbudte klorerede pesticider DDT, HCH, HCB og chlordan (trans-nonachlor) samt PCB. Herudover analyseres for bromerede flammehæmmere (PBDE), perfluorerede stoffer (PFAS'er) og de dioxinlignende stoffer, som er tilføjet, efter en screening påviste deres forekomst i fisk (Strand m.fl. 2007). PFAS, PCB og klorerede pesticider måles i leveren, da fiskene især opkoncentrerer dem i leveren, og koncentrationen af PFAS i muskel er under detektionsgrænsen. Svenske undersøgelser tyder på en faktor 10 forskel mellem lever- og muskelkoncentrationer af PFAS i en lang række fiskearter (Faxneld m.fl. 2014), hvilket er på linje med den faktor 10, der er blevet vurderet at være mellem lever- og muskelkoncentrationer for de klorerede pesticider HCH, HCB og DDT i fisk (OSPAR 2005).

Vurdering af målte koncentrationer i forhold til miljøvurderingskriterier

Til at vurdere de miljøfarlige stoffers betydning for miljøtilstanden anvendes fortrinsvis EU's miljøkvalitetskrav (EQS, Environmental Quality Standards). De nationale miljøkvalitetskrav fra Bek. 439 af 19. maj 2016 behandles særskilt efter de internationale miljøkvalitetskrav. Ved at sammenstille de målte koncentrationer med miljøkvalitetskravene kan den kemiske status i regi af EU's vandrammedirektiv vurderes i forhold til, om belastningen med miljøfarlige stoffer udgør en risiko for at kunne forårsage skader på miljøet (EU 2013). For en række af de i NOVANA-analyserede miljøfarlige stoffer, hvor EQS-værdier endnu ikke er fastlagt, anvendes desuden et sæt vejledende miljøvurderingskriterier, som er fastsat af OSPAR. OSPARs EAC-værdier (Ecotoxicological Assessment Criteria) anvendes på muslinger og fisk, og ERL-værdier (Effect Range Low, US-EPA) anvendes på sedimenter (OSPAR 2009). For TBT i sediment anvendes dog et svensk vurderingskriterium, som er fastsat i henhold til EU's retningslinjer (EU 2013) på baggrund af økotoxikologiske data (Havs- och Vattenmyntigheten 2015). For fisk anvendes en omregningsfaktor på 10, når PFOS, HCB, HCH og DDE er målt i lever i stedet for muskel i henhold til approksimationer anført af OSPAR (2005) og Faxneld m.fl. (2014). EQS-værdier for PBDE, HBCDD og de dioxinlignende stoffer er normaliseret til et indhold på 5 % lipid i fisk og 1 % lipid i muslinger i henhold til anbefalinger i EU (2014), mens EAC-værdierne for specifikke PCB-congener i fisk sammenholdes med koncentrationer, som er normaliseret til hele lipidindholdet. Derved vurderes det, at brugen af en omregningsfaktor mellem lever og muskel for disse lipofile og biomagnificerende stoffer ikke er nødvendig.

Belastningen med tungmetaller i muslinger og fisk sammenholdes udover ovennævnte miljøvurderingskriterier også med EU's fødevarekrav (EU 2006,

2011) for at vurdere, om belastningsgraden i de pågældende områder kan være problematisk i forhold til at anvende de indsamlede muslinger og fisk til fødevarer (tabel 11.2).

Tabel 11.2. Internationale vurderingskriterier fra EU (2006, 2008, 2011, 2013) og OSPAR (2005, 2009), som er anvendt til at vurdere indholdet af metaller og organiske miljøfarlige stoffer i NOVANA-prøver fra 2015.

Reference	Sediment		Muslinger				Fisk (muskel)			
	BAC ¹	ERL ¹	BAC	EAC	EQS ⁷	Fødevarer	BAC	EAC	EQS ⁷	Fødevarer
	OSPAR	OSPAR	OSPAR	OSPAR	EU	EU	OSPAR	OSPAR	EU	EU
Basis ²	TV	TV	TV	TV	VV	VV	VV	VV	VV	VV
Stof	Enhed	µg kg ⁻¹	µg kg ⁻¹	µg kg ⁻¹	µg kg ⁻¹	µg kg ⁻¹	µg kg ⁻¹	µg kg ⁻¹	µg kg ⁻¹	µg kg ⁻¹
Kviksølv	70	150	90	-	20	1.000	35	-	20	500
Bly	38.000	47.000	1.300	-	-	1.500	26	-	-	300
Cadmium	310	1.200	960	-	-	1.000	26	-	-	50
Nikkel	36.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kobber	27.000	34.000	-	-	-	-	-	-	-	-
Zink	122.000	150.000	-	-	-	-	-	-	-	-
Tributyltin (TBT)	-	0,8 ⁴	5	12	-	-	-	-	-	-
Naphthalen	8	160		340	-	-	-	-	-	-
Antracen	5	85		290	-	-	-	-	-	-
Phenanthren	32	240	11	1.700	-	-	-	-	-	-
Pyren	24	665	9	100	-	-	-	-	-	-
Benz[a]anthracen	16	261	2,5	80	-	-	-	-	-	-
Chrysene	20	384	8,1		-	-	-	-	-	-
Fluoranthren	39	600	12,2	110	30	-	-	-	-	-
Benzo(a)pyren	30	430	1,4	600	5	5	-	-	-	-
Benzo(b,k) fluoranthren	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-
Benzo(g,h,i) perylen	80	85	2,5	110	5	-	-	-	-	-
Indeno(1,2,3- cd) pyren	103	240	2,4	-	5	-	-	-	-	-
PAH (Σ4) ⁵	-	-	-	-	-	35	-	-	-	-
DDT (p,p-DDE)	0,09	2,2	0,63	10	-	-	0,1	50 ⁸	-	-
Hexachlorbenzen (HCB)	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-
Hexachlorcyclohexan (γ-HCH)	0,13	3,0	0,97	1,45	-	-	-	1,1 ⁸	-	-
Perfluoroctansulfonsyre (PFOS)	-	-	-	-	-	-	-	-	9,1 ⁸	-
Dioxiner, furaner og DL-PCB ³	-	-	-	-	0,0065	0,0065	-	-	0,0065	0,0065
CB118	0,17	0,6	0,6	1,2	-	-	0,1	25 (ift. LV) ⁶	-	-
CB153	0,19	40	0,6	80	-	-	0,1	1.585 (ift. LV) ⁶	-	-
Non-DL PCB (Σ6)	-	-	-	-	-	-	-	-		75
PBDE (Σ6)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0085	-
Hexabromcyclododecan (HBCDD)	-	-	-	-	-	-	-	-	167	-

¹ Sediment: BAC og ERL er for organiske miljøfarlige stoffer normaliseret til 2,5 % TOC for organiske stoffer - og for metaller til 5 % Al (eller 55 mg kg⁻¹ Li).

² Basis for enhederne: TV: tørvægt, VV: vådvægt og LV: lipidindhold.

³ Angivet som TEQ-værdier (WHO 2005). Gælder ikke for ål og visse ferskvandsfisk som bl.a. gedde.

⁴ Nyt svensk vurderingskriterium for TBT i sediment, som er afledt i henhold til EU's retningslinjer på baggrund af data fra økotoxikologiske tests. Værdien er i denne tabel justeret ift. OSPARs anbefalinger på 2,5 % Totalt Organisk Carbon (TOC) i sedimentet i stedet for til 5 % som foreskrevet i retningslinjerne.

⁵ PAH (Σ4): Sum af benzo(a)pyren, benz(a)anthracen, benzo(b)fluoranthren og chrysen, non-DL PCB (Σ6): sum af CB28, 52, 101, 153 og 180), PBDE (Σ6): sum af BDE28, 47, 99, 100, 153 og 154.

⁶ Angivet med enhed normaliseret i forhold til lipidindhold (LV) i stedet for til vådvægt (VV).

⁷ EQS for de lipofile og biomagnificerende stoffer PBDE, dioxinlignende forbindelser, HBCDD og HCB med log Kow > 3 sammenholdes med normaliserede koncentrationer henholdsvis 1 % for muslinger og 5 % for fisk lipid, svarende til proxy for fisk på trofisk niveau 4.5 i henhold til EC guidance document (EU 2014). PAH i muslinger vurderes at være lipofile og normaliseres derfor også til 1 % lipid.

⁸ OSPAR EAC for γ-HCH og p,p-DDE i fisk samt EQS for PFOS i fisk bør multipliceres med faktor 10 i de tilfælde, hvor stofferne er målt i fiskelever fremfor i muskel i henhold til OSPAR (2005) og Faxneld m.fl. (2014).

OSPAR har et generationsmål, som siger, at i 2020 skal alle miljøfarlige stoffer være på niveau med den naturlige baggrundskoncentration (bc) (OSPAR 2009). For at kontrollere dette, er der udviklet baggrundsvurderingskriterier (BAC, Background Assessment Criteria) for sediment og muslinger (OSPAR 2009), hvor der tillægges en analyseusikkerhed på bc. Disse kriterier er også anvendt her for at se, om det er realistisk at nå dette mål, der gælder for alle OSPAR's medlemslande inkl. Danmark.

Danske miljøkvalitetskrav er for nyligt offentliggjort i bekendtgørelse 439 af 19/05/2016 (*Miljø- og Fødevareministeriet 2016*). Disse er ikke tidligere anvendt i rapporteringen af NOVANA-resultater, men bilag 2 med værdier for biota og sediment er i denne rapportering sammenholdt med BAC for metaller i biota, EAC for PAH i biota samt BAC og ERL for phenoler, PAH og metaller i sediment (tabel 11.3). Sammenstillingen viser, at for metaller i muslinger og sediment, og antracen i sediment, er de fundne MKK-værdier lavere end OSPARs grænse for baggrundsværdier (BAC). Ved fastlæggelse af MKK er der en række "sikkerhedsfaktorer", som anvendes, hvis der er få økotoxikologiske data. Dette kan medføre, at slutresultatet bliver meget lavt, fordi der kun er data fra få forsøg eller få arter, som giver sikkerhedsfaktorer på 10-100. Det er også muligt, at BAC-værdierne er sat for højt, da de inkluderer en usikkerhedsfaktor på analyserne, således at den "rigtige" baggrundskoncentration typisk er 20-50 % lavere end BAC-værdien. For menneskeskabte stoffer er baggrundskoncentration 0, så den kan ikke bruges direkte til statistisk test af, om et niveau er på niveau med baggrundskoncentrationen, derfor anvendes generelt BAC i stedet for direkte sammenligning med bc.

Tabel 11.3. Nationalt fastsatte miljøkvalitetskrav (MKK) fra den danske bekendtgørelse 439 (*Miljø- og Fødevareministeriet 2016*) sammenholdt med internationale kriterier (fra tabel 11.2). MKK i muslinger er omregnet fra vådvægt til tørvægt ved at anvende det gennemsnitlige tørstofindhold for muslinger (17 %) for direkte sammenligning med OSPARs EAC/BAC-kriterier.

Reference	Muslinger				Sediment		
	BAC	EAC	MKK	MKK ³	BAC ¹	ERL ¹	MKK
	OSPAR	OSPAR	NST	NST	OSPAR	OSPAR	NST
Basis ²	TV	TV	VV	TV (17 %)	TV	TV	TV
Stof	Enhed	μg kg ⁻¹	μg kg ⁻¹	μg kg ⁻¹	μg kg ⁻¹	μg kg ⁻¹	μg kg ⁻¹
Bly	1.300	-	110	647	38.000	47.000	33.000
Cadmium	960	-	160	941	310	1200	230+bc ⁴ / 150 ⁵
Nonylphenol	-	-	-	-	36.000	-	2.500 × f _{oc}
Octylphenol	-	-	-	-	-	0,8	3.930 × f _{oc}
Naphthalen	-	340	2.400	14.118	8	160	138
Antracen	-	290	2.400	14.118	5	85	4,8

¹ Sediment: BAC og EAC er for organiske miljøfarlige stoffer normaliseret til 2,5 % TOC for organiske stoffer - og for metaller til 5 % AI (eller 55 mgkg⁻¹Li).

² Basis for enhederne: TV: tørvægt, VV: vådvægt og LV: lipidindhold.

³ MKK omregnet til tørstof ved at bruge middelværdien for tørstof i muslinger (17 %) på kriteriet i bek. 439. For den endelige vurdering beregnes i stedet tørstof/vådvægts-koncentrationerne ud fra det reelt målte tørstofindhold, så alle resultater sammenholdes med samme enhed som miljøkvalitetskravet.

⁴ Den naturlige baggrundskoncentration (bc) tilføjes MKK, hvor resultatet er målt.

⁵ "biotilgængelig" fraktion - ikke nærmere defineret i bekendtgørelsen.

Vurdering af effektindikatorer i forhold til miljøvurderingskriterier

For imposex i havsnegle anvender OSPAR sammen med HELCOM i dag et sæt af miljøvurderingskriterier, som omfatter de forskellige anvendte arter af havsnegle, som anvendes i forbindelse med miljøovervågning (tabel 11.4). Disse kriterier kan anvendes til at vurdere, om der forekommer uønskede effekter af TBT i havmiljøet. Grænsen mellem klasse II og III er sat til at angive, om havmiljøet vurderes i en 'god' eller en 'ikke tilfredsstillende' miljøtil-

stand, dvs. at denne grænse svarer til EAC-værdier for de kemiske stoffer (Strand m.fl. 2006; OSPAR 2008; HELCOM 2016).

Tabel 11.4. Miljøkvalitetsklasser for imposex og intersex i havsnegle (OSPAR 2008; HELCOM 2016). Romertal og tilhørende farvekoder er forklaret under tabellen. VDSI (Vas Deferens Sekvens Indeks) og ISI (Intersex Indeks) angiver gennemsnitsniveauet af hhv. imposex og intersex i en population på en given station.

Klasser	I	II	III	IV	V
VDSI i purpurnegl	< 0,3	0,3 - < 2	2 - 4	> 4 (sterile)	
VDSI i rødskonk	< 0,3	0,3 - < 2	2 - < 4	≥ 4	
VDSI i alm. konk	< 0,3		0,3 - < 2	2 - < 4	≥ 4
VDSI i dværgkonk	< 0,3		0,3 - 2	2 - < 4	≥ 4
VDSI i alm. dyndsnegl*	< 0,1		0,1 - < 1	1 - < 3	≥ 3
ISI i alm. strandsnegl	< 0,3			0,3 - 1,2	> 1,2

* Almindelig dyndsnegl (*Peringia ulvae*) er tilføjet af HELCOM, da denne art er mere udbredt i Østersøområdet, og den anvendes bl.a. i det svenske overvågningsprogram (HELCOM 2016).

I	Tæt på baggrundsniveau, dvs. under OSPAR BAC (Background Assessment Criteria).
II	Der forventes ikke væsentlige effekter af TBT på følsomme arter i økosystemet – svarer til under OSPAR EAC eller EU EQS.
III	Væsentlige økotoxikologiske effekter af TBT på følsomme arter kan forventes i økosystemet – svarer til over OSPAR EAC eller EU EQS.
IV	Alvorlige økotoxikologiske effekter, herunder sterilitet i havsnegle, kan forekomme i økosystemet.
V	Alvorlige økotoxikologiske effekter på en række forskellige arter vil forekomme i økosystemet.

Resultater fra overvågningen i 2015

Det overordnede billede af den tidlige udvikling af niveauet af de forskellige stofgrupper er faldende eller ingen trends for perioden 2004–2012. Dette gælder dog ikke for visse metaller som cadmium og bly, hvor der er observeret stigende trends i muslinger og fisk i nogle områder (Boutrup m.fl. 2015).

Muslinger: metaller, PAH'er, TBT og dioxin

For metallerne bly og kviksølv var ~60 % over BAC (tabel 11.5), hvilket er en større andel end i 2014. Der er kun defineret EQS-værdi for Hg, og i 2015 var 36 % over EQS, hvilket er en højere procentdel end i 2014, men på niveau med 2012 og 2013, hvor ca. 40 % var over EQS. Generelt gælder EQS-værdierne for hele fisk (undtagen PAH'er), men andre arter kan anvendes (inkl. muslinger), hvis de giver samme beskyttelsesniveau. I den nyeste vejledning fra EU (2013) anbefales lipid-normalisering til 5 % for lipofile forbindelser med $\log K_{ow} > 3$ i fisk og 1 % i muslinger. En grundig gennemgang af tolkningen af Hg for prøver i OSPAR-regi er foretaget af OSPAR-gruppen MIME (OSPAR 2016) og indikerer, at der med den nye fortolkning stort set ikke er nogen Hg-værdier, der overholder EQS i Nordsøområdet. For kviksølv og bly er 60 % over BAC, hvilket er samme niveau som tidligere. For cadmium var 13 % over BAC, hvilket er væsentligt færre end i 2014. Ca. 1/3 af kviksølvkoncentrationerne er over EQS-værdier ved direkte sammenligning uden korrektion for trofisk niveau eller anden normalisering. EQS-værdien gælder principielt for fisk på trofisk niveau 4, og ved omregning til dette vil alle prøverne være over EQS. Sammenholdt med de nationale MKK er grænsen overskredet for 72 % af prøverne for bly og ca. 1/3 for cadmium. Anbefalingen i bekendtgørelse 439 er, at metallerne skal undersøges i vandfasen, ikke i biota (jf. stk. 4, paragraf 2). Lige som de tidligere år havde ingen af muslingepróverne et metalindhold over grænserne for fødevarer.

Metaller

Tabel 11.5. Vurdering af koncentrationen af kviksølv (Hg), cadmium (Cd) og bly (Pb) i muslinger efter OSPARs baggrundsvurderingskriteriet (BAC, tørstof) og EU's eller nationale miljøkvalitetskrav (EQS eller MKK, vådvægt), og fødevaregrænseværdier (omregnet til vådvægt) fra tabel 11.2. Opgørelsen er baseret på den procentvis andel af prøver (n = 58). Bemærk at for Cd og Pb er det danske miljøkvalitetskrav (MKK) lavere end OSPARs BAC (tabel 11.3). Resultater > DG angiver, hvor mange resultater, der er fundet over detektionsgrænsen.

Tilstand	Hg	Cd	Pb
Resultater > DG (%)	100	100	100
Mindre end BAC (%)	41	87	40
Mindre end EQS/MKK* (%)	64	66*	28*
Mindre end EU fødevare (%)	100	100	100
Over EU fødevare (%)	0	0	0

* MKK = MiljøKvalitetsKrav (danske).

Sandmuslinger har generelt et højere indhold af tungmetaller end blåmuslinger, da de lever nedgravet i sediment og har et andet akkumulationsmønster. I 2015 var indholdet af Ag, Ni, Cr og Cu igen højest i sandmuslinger fra Ringkøbing Fjord, hvorimod blåmuslingerne ved Lynetteløbet og Kalvebod Brygge havde det højeste indhold af Hg. Koncentrationerne af Pb i blåmusling var højest ved Lynetteløbet og i Køge Bugt med ca. 3-4 gange højere værdier end medianværdien.

Der blev, som i 2013 og 2014, fundet meget høje koncentrationer af As i blåmuslinger fra Aalborg Bugt (Dokkedal), dobbelt så høje som de næsthøjeste koncentrationer ved Lynetten og ca. 6 gange over medianværdien af As i alle muslinger. Koncentrationen er dog faldet fra omkring 70 mg/kg i 2013 og 2014 til 50 mg/kg i 2015.

PAH'er

For tjærestofferne (PAH) blev EQS-værdien for indholdet af benz(b+j+k)-fluoranthren i 27 % af muslingeprøverne overskredet i 2015, efter normalisering til 1 % lipid for muslinger faldt dette til 7 % af prøverne. For de øvrige fire individuelle PAH'er blev der ikke fundet overskridelser af EQS-værdierne (tabel 11.6). Det er fra EU foreslået, at man kun anvender måling af benz(a)-pyren som proxy for PAH-forurening, hvilket i dette tilfælde ville have betydet, at PAH'erne var under EQS. Resultaterne blev også sammenholdt med OSPARs individuelle EAC-værdier for PAH'erne. I ingen tilfælde var EAC eller fødevarekravet overskredet for disse fem parametre. De højeste koncentrationer for 9 ud af 22 PAH'er blev fundet i blåmuslinger fra Kolding Havn. For naphthalen blev de højeste koncentrationer målt i blåmuslinger indsamlet nord for Skagen. Det samlede indhold af PAH i blåmuslingerne fra Skagen var også forholdsvis højt (omkring 50 % højere end medianen), men niveauet var dog ca. det halve sammenlignet med 2013. Se sidste års rapport for yderligere bemærkninger (Hansen (red.) 2015, kapitel 11).

Tabel 11.6. Indholdet af PAH'er (tjærestoffer) i muslinger er sammenholdt med BAC, EQS, EAC og EC (EU-fødevarekriterier). Opgørelsen er baseret på den procentvise andel af analyserede prøver. Resultater > DG angiver hvor mange resultater, der er fundet over detektionsgrænsen. Resultaterne er normaliseret til 1 % lipid jf. *tabel 11.2* (note 7).

Tilstand	Fluoranthen	Benz(a) pyren	Benz(b+j-k) fluoranthener	Indeno(1.2.3-cd) pyren	Benzo(ghi) perylene	PAH ($\Sigma 4$) ¹
Resultater > DG (%)	100	53	76	66	88	100
Mindre end BAC (%)	7	47	Ikke def.	41	17	Ikke def.
Mindre end EQS (%)	100	100	73	100	100	100
Mindre end EAC (%)	100	100	Ikke def.	Ikke def.	100	Ikke def.
Mindre end EC (%)	Ikke def.	100	Ikke def.	Ikke def.	Ikke def.	100
Over EQS/EAC/EC (%)	0	0	27	0	0	0
EQS-grænser normaliseret til 1 % lipid i henhold til EC (2014).						
Mindre end EQS (%)	100	100	93	100	100	100
Over EQS (%)	0	0	7	0	0	0

¹ PAH ($\Sigma 4$): Sum af benzo(a)pyren, benz(a)anthracen, benzo(b)fluoranthen og chrysen

Organotin/TBT

Indholdet af TBT i muslinger var over EAC-værdien i 47 % af prøverne (*tabel 11.7*). TBT er således fortsat et miljøfarligt stof, som vurderes at udgøre en udbredt risiko for effekter i økosystemet. Der er sket et generel fald i niveauer i de danske farvande gennem det seneste årti (*Boutrup m.fl. 2015*), og denne tendens ser ud til at fortsætte. I ca. halvdelen af prøverne blev der ikke påvist TBT, dvs. at koncentrationerne var under detektionsgrænsen på 1-3 µg TBT kg⁻¹. Koncentrationer under detektionsgrænsen betragtes som lavere end BAC.

Tabel 11.7. Indholdet af organotin (TBT) og tjærestoffer (PAH) i muslinger sammenholdt med OSPARs BAC- og EAC-kriterier, samt nationale MKK. Opgørelsen er baseret på den procentvise andel af analyserede prøver. Resultater > DG angiver hvor mange resultater, der er fundet over detektionsgrænsen.

Tilstand	TBT	Naphthalen	Anthracen	Pyren	Benz[a]anthracen
Resultater > DG (%)	69	86	55	100	86
Mindre end BAC (%)	34	100	100	12	14
Mindre end EAC (%)	53	100	100	100	100
Mindre end MKK (%)	Ikke def.	100	100	Ikke def.	Ikke def.
Over EAC (%)	47	0	0	0	0

Dioxin, furaner

Ingen af de otte muslingeprøver, der blev analyseret for dioxiner, furaner og dioxinlignende PCB'er, lå over EQS-grænsen baseret på WHO (2005)'s TOX-ækvivalenterne (TEQ). Det højeste indhold af dioxin blev fundet i blåmuslinger fra Roskilde Fjord, hvor niveauet var på ca. 10 % af TEQ-grænseværdien. Det skal dog bemærkes, at der i analyseprogrammet kun er medtaget tre af fire 'non-ortho' og ikke de otte 'mono-ortho' congener, der indgår i den samlede TEQ-beregning (*Van den Berg m.fl. 2006*). Det vurderes dog stadig, at dioxinindholdet generelt var så lavt, at det er usandsynligt, at indholdet kommer over EQS-grænsen, selv om der måles på alle coplanare PCB'er.

Fisk: metaller og organiske stoffer

Både metaller og en række bioakkumulerbare organiske miljøfremmede stoffer blev analyseret i de tre fiskearter ålekvabbe, skrubbe og rødspætte, som i 2015 blev indsamlet ved henholdsvis 2, 4 og 1 stationer i de danske farvande. Alle stoffer blev analyseret i puljeprøve bestående af muskel/filét eller lever fra 10 fisk. Tidligere er der analyseret PCB i 10 individuelle leverprøver fra skrubber, men fra 2015 blev dette reduceret til én puljet prøve pr. station lige som for ålekvabber. På grund af mindre lever puljes ca. 25 ålekvabberhanner til analyserne. Tidligere års prøver kan anvendes til at vurdere spred-

ningen på stationsniveau. Nedenfor er indholdet af miljøfarlige stoffer vurderet ud fra gennemsnitsbetragtninger i forhold til miljøvurderingskriterierne, og vurderingerne anses derfor at være repræsentative for beskrivelse af belastningsgraden i de pågældende områder.

Metaller

For metaller er det især kviksølv (Hg) i fisk, der fremstår som et problem, da indholdet i samtlige analyserede muskelprøver oversteg EU's EQS-værdi på $20 \mu\text{g kg}^{-1}$ vådvægt med 3-13 gange i ålekvabbe og 2-7 gange i fladfisk. På denne baggrund vurderes det, at Hg stadig udgør en væsentlig miljørisiko for fiskespisende fugle og pattedyr i de danske farvande. I denne sammenhæng bør det nævnes, at EQS-værdien for Hg er lavere end OSPARs BAC-værdi for fisk. Indholdet af kviksølv er dog under fødevarekravet på $500 \mu\text{g kg}^{-1}$ vådvægt, så indholdet af Hg i disse fiskearter vurderes ikke at udgøre en risiko for mennesker.

For de andre metaller i fisk er der ikke fastsat EQS- eller EAC-værdier. Der forefindes dog EU-fødevarekrav for Cd og Pb i havfisk. For Cd, som er målt i leverprøver, var niveauet i samtlige prøver på nær to over fødevarekravet på $50 \mu\text{g kg}^{-1}$ vådvægt (op til 17 gange over, i gennemsnit ca. 8 gange over), men da niveauet i muskel normalt er 50-100 gange lavere end i lever, vurderes niveauet af Cd ikke som et væsentligt fødevareproblem. Indholdet af Pb i fiskelever var under fødevarekravet i alle prøverne. Der er også målt Cd og Pb i muskelprøver fra fiskene, og som forventet lå de alle under fødevarekravet. For de fastsatte MKK er det ikke angivet, om det er lever eller filet, der skal måles. I alle fiskelever på nær Ho Bugt var indholdet over MKK for Cd, men ingen af muskelprøverne var over MKK. For Pb var niveauet i lever fra rødspætte og ålekvabbe fra hhv. Nordsøen og Kalvebodløbet over MKK, og muskel fra skrubbe ved Ho Bugt var også over MKK. De nationale MKK er således mere restriktive end fødevarekravene, men der er stor forskel på, om de skal anvendes på muskel- eller leverprøver. Anbefalingen i bekendtgørelse 439 er, at metallerne skal undersøges i vandfasen, ikke i biota (jf. stk. 4, paragraf 2).

Organiske miljøfarlige stoffer

For de organiske miljøfremmede stoffer fremstår især de bromerede flammehæmmere i form af PBDE som stoffer, der i dag kan udgøre en risiko for fiskespisende dyr og mennesker. De specifikke PBDE kongener BDE47 og BDE100 blev fundet i samtlige prøver, og efter normalisering til 5 % lipid for fisk var EU's EQS-værdi på $8,5 \text{ ng kg}^{-1}$ vådvægt for sum BDE₆ overskredet med 16-37 gange i samtlige muskelprøver. På denne baggrund vurderes det, at PBDE kan have en væsentlig betydning for miljøtilstanden i de danske farvande.

For PCB og de dioxinlignende stoffer i fisk var der i 2015 hverken overskridelser af EU's EQS-værdier eller OSPARs EAC-værdier for PCB kongenerne CB118 og CB153. Det højeste niveau i 2015 af de dioxinlignende stoffer blev fundet i ålekvabbe fra Kalvebodløbet ved København og i Roskilde Bredning med hhv. 5,8 og $4,5 \text{ ng TEQ kg}^{-1}$ vådvægt efter normalisering til 5 % lipid, som er forholdsvis tæt på EQS-værdien på $6,5 \text{ ng TEQ kg}^{-1}$ vådvægt. Det skal dog her bemærkes, ligesom for muslinger, at ikke alle de relevante dioxinlignende PCB'er indgår i måleprogrammet til beregning af en samlet WHO-TEQ-værdi. Derfor er PCB's bidrag underestimeret i forhold til beregningen af en samlet TEQ-værdi for dioxinlignende stoffer, sandsynligvis med en faktor 2-5 (Karl m.fl. 2010; Strand & Bossi unpubl.). Desuden var data for CB118 og CB153 i ålekvabbe fra de to generelt mere belastede kystnære stationer ikke tilgængelige ved rapporteringstidspunktet. Det kan derfor ikke

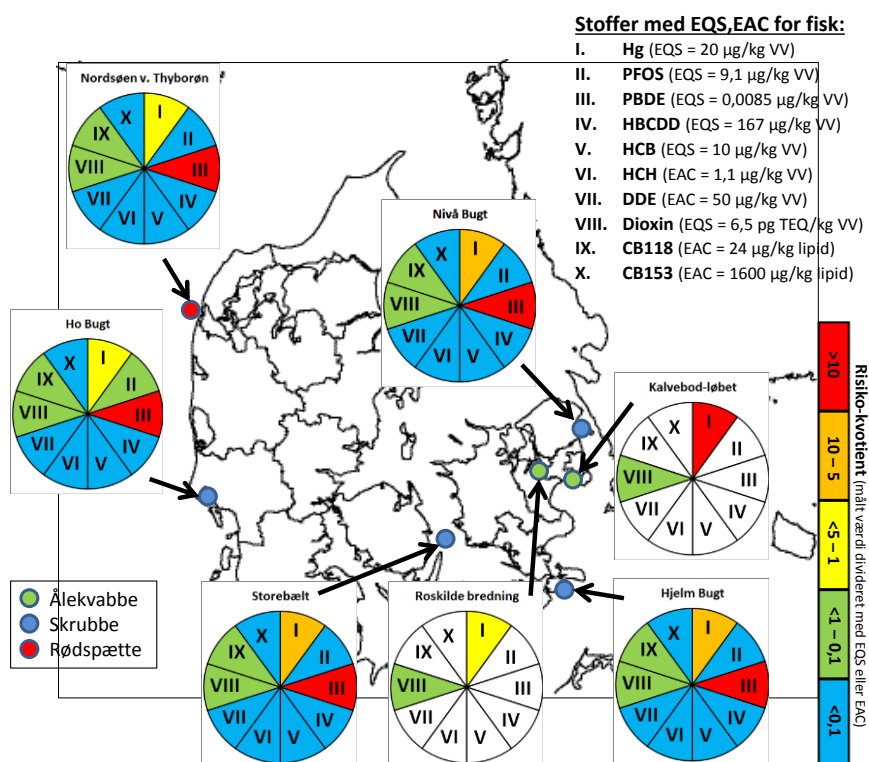
udelukkes, at overskridelser af EQS-værdien kan forekomme for de dioxinlignende stoffer i visse kystnære fisk.

For de klorerede pesticider HCB, HCH og DDE samt den anden type af bromerede flammehæmmer HBCDD var der heller ingen overskridelse af EQS- eller EAC-værdierne for fisk fastsat af EU eller OSPAR. Stofferne blev dog detekteret i samtlige prøver.

For PFOS var indholdet i ingen af 5 analyserede leverprøver fra fladfisk højere end EU's EQS-værdi på $9,1 \mu\text{g kg}^{-1}$ vådvægt, efter at koncentrationen var divideret med en faktor 10 for at tage højde for forskelle mellem muskel og lever (Faxneld m.fl. 2014). Den højeste koncentration af PFOS på $16,1 \mu\text{g kg}^{-1}$ vådvægt blev fundet i leverprøve fra skrubbe indsamlet i Ho Bugt i Vadehavet. Ud over PFOS blev der i alle de analyserede prøver af fiskelever også fundet andre polyfluorede alkylerede forbindelser (PFAS). PFOS udgjorde i 2015 60-76 % af den samlede mængde PFAS efterfulgt af stofferne PFNA (9-19 %), PFDA (7-12 %), PFUnA (6-12 %) og PFOA (1-3 %). Stofferne PFOSA og PFHxS var under detektionsgrænsen i samtlige prøver i 2015. Der findes ingen fastsatte miljøvurderingskriterier for forekomsten af de andre PFAS-forbindelser i fisk.

Organotinforbindelserne tributyltin (TBT), triphenyltin og deres nedbrydningsprodukter blev fundet i samtlige leverprøver fra ålekvalbe. Modsat i muslinger var det i fisk, ligesom de tidligere år, triphenyltin fremfor TBT med hhv. 44-50 og $< 3-5,6 \mu\text{g kg}^{-1}$ vådvægt, der var den dominerende forbindelse. Der findes ingen EQS- eller EAC-værdier for indholdet af TBT og triphenyltin i fisk. Der forefindes dog et forslag til fødevarekrav for TBT på $15,2 \mu\text{g kg}$ vådvægt (EU 2005).

Figur 11.1. Vurdering af indholdet af miljøfarlige stoffer i fisk (ålekvalbe, skrubbe og rødspætte) indsamlet på syv danske lokaliteter i 2015. Indholdet af miljøfarlige stoffer normaliseret til 5 % lipid er vurderet i forhold til eksisterende miljøkvalitetskrav og -kriterier (I - X), der enten er fastsat af EU (EQS-værdier) eller af OSPAR (EAC-værdier). Farveskalaen med blå, grøn, gul, orange og rød farve angiver risikokvotienten, som er beregnet som de målte koncentrationer divideret med de nævnte miljøvurderingskriterier.



I figur 11.1 er en samlet oversigt over de syv lokaliteter, hvor der blev indsamlet fisk i NOVANA-programmet i 2015. Af figuren fremgår en vurdering af indholdet af kviksølv og de forskellige organiske miljøfremmede stoffer ud fra beregning af en risiko-kvotient i forhold til de tilgængelige EQS- og EAC-værdier for fisk. Kun for kviksølv og de brommerede flammehæmmere (PBDE) er risikokvotienten større end 1, hvilket betyder, at de pågældende stoffer udgør en risiko for at forårsage uønskede effekter i havmiljøet, og at de dermed kan have betydning for miljøtilstanden. For ålekvabber var kun data for kviksølv og dioxin klar til at kunne blive præsenteret i denne rapport.

Sediment fra kystnære og indre farvande: metaller, TBT, PAH og dioxin

I 2015 blev der indsamlet 24 prøver fra mange forskellige typer sediment, lige fra finkornede sedimenter med højt indhold af kulstof (TOC, total organic carbon) ved Skælskør og Vejle Fjord (TOC ~ 7-11 %) til sandede sedimenter omkring Skagen og Kattegat i området nord for Gilleje (TOC < 0,5 %). Prøver indsamlet i Nordsøen behandles for sig i et senere afsnit, men var også sandede prøver med TOC < 0,3 % og < 14 % ler-silt. Generelt var antallet af undersøgte prøver i 2015 fordelt nogenlunde ligeligt mellem prøver med TOC-indhold < 1 %, 1-5 % og over 5 %. Da 15 af prøverne havde TOC-indhold over 2,5 %, får disse lavere værdier for organiske kontaminanter ved den af OSPAR foreskrevne normalisering til 2,5 % TOC. De steder, hvor TOC-indholdet er under detektionsgrænsen (< 0,2 %), kan glødetab anvendes i stedet som en proxy for TOC ved at dividere glødetabet med en faktor tre for fjorde og fire for åbenvands stationer.

For at sammenligne data fra sandede sedimenter med områder med finkornet sediment anvender OSPAR normalisering til 5 % Al. Al og Li er indikatorer for indholdet af ler/silt. I danske sedimenter er indholdet typisk < 5 % Al (83 % af prøverne), og 5 % Al svarer i 2015 prøver til Li på ca. 40 mg kg⁻¹ TS (også 83 % af prøverne), så metalkoncentrationerne i sediment øges generelt ved normalisering til Li eller Al.

Metaller

For metallerne fandtes de højeste værdier i Skælskør Fjord (Zn, Cu, Hg, Cd og Pb), Lillebælt og Vejle Fjord (As, Ag, Ni) og Faaborg Fjord (Cr). Der blev fundet koncentrationer, der var højere end OSPARs ERL-kriterier for Cd i 4-8 %, og for Cu, Zn, Pb og Hg i 17-37 % af prøverne, hvorfor effekter af disse metaller ikke kan afvises (tabel 11.8). Bemærk at for Ni er ERL ikke defineret. I tabel 11.8 er klassifikationen også angivet for de direkte målte koncentrationer. Det giver færre prøver over ERL-grænserne – for Cu, Hg og Ni ca. samme niveau, men for de øvrige noget lavere (5-16 %). Baggrunden for ERL-grænserne tager ikke hensyn til kornstørrelsen; men i OSPAR anvendes generelt normalisering for at sikre ens behandling af forskellige sedimenttyper og derfor også ved sammenligning med ERL-grænserne. For datasættet fra 2015 betyder normalisering kun en ekstra prøve med koncentration over ERL (Zn, Cd), mens der for antallet af prøver under BAC kan flyttes 1-2 prøver (Zn, Cd, Ni og Pb) fra under til over BAC. En prøve svarer til ca. 4 %. I alle tilfælde er Cd kun over ERL-grænsen i 1-2 prøver, hvorimod bly er over i fire prøver og Hg i ni prøver, og Zn, Cu i 6-7 af prøverne. Der var i 2015 generelt et lidt højere antal koncentrationer over ERL end i 2014.

Tabel 11.8. Indholdet af en række metaller i sediment angivet som procentdel prøver (n = 24) under eller over OSPARs BAC- og ERL-kriterier (n = 24), direkte og efter normalisering til 5 % Al. Bemærk at ERL ikke er defineret for Ni. For Cd og Pb er miljøkvalitetskrav (MKK) under BAC og derfor placeret som første kriterium. Resultater > DG angiver, hvor mange resultater, der er fundet over detektionsgrænsen.

Direkte	Zn	Cu	Hg	Cd	Ni	Pb
Resultater > DG (%)	100	100	100	100	100	100
Under MKK (%)	Ikke def.	Ikke def.	Ikke def.	46	Ikke def.	63
Under BAC (%)	67	67	42	58	83	75
Under ERL (%)	75	71	63	96	Ikke def.	83
Over ERL (%)	25	29	37	4	Ikke def.	17
Normaliseret til 5 % Al						
Under MKK (%)	Ikke def.	Ikke def.	Ikke def.	42	Ikke def.	50
Under BAC (%)	58	67	42	46	79	71
Under ERL (%)	71	71	63	92	Ikke def.	83
Over ERL (%)	29	29	37	8	Ikke def.	17

PAH'er

De højeste PAH-koncentrationer i sediment blev fundet i prøver indsamlet i Faaborg Fjord, hvor PAH-indholdet var på niveau med ERL. Koncentrationen var 20-50 % over ERL-værdien for benz(a)pyren og indeno(1,2,3-cd)pyren, og 4 gange ERL-værdien for benzo(ghi)perylen. Ligesom i 2013 og 2014 er benzo(ghi)perylen den PAH-forbindelse, der blev fundet i flest sedimentter i koncentrationer over ERL-grænsen (tabel 11.9, 40-50 % af prøverne før normalisering, > 80 % efter normalisering). Fluoranthen hhv. benz(a)anthracen overskred også ERL-grænsen efter normalisering til 2,5 % TOC, hvorimod den højeste værdi for benz(a)pyren og indeno(1,2,3-cd)pyren havde højere TOC-indhold end 2,5 %, og kom under ERL-grænsen efter normaliseringen. Prøverne fra Faaborg Fjord havde det højeste samlede indhold af PAH (sum-PAH) på tørstofbasis før normalisering til 2,5 % TOC (ca. det dobbelte af ERL-værdien), efterfulgt af Taskensand, Vejle Inderfjord og Skælskør Nor, men pga. et højt TOC-indhold på 6-11 % er værdierne justeret ned med en faktor 3-5 gange i den samlede vurdering.

Tabel 11.9. Indholdet af PAH i sediment undtagen Nordsøen opgjort som den procentvise andel af prøver (n = 24) under eller over OSPARs BAC- og ERL-kriterier, dels direkte på de målte koncentrationer og efter normalisering til 2,5 % TOC. Miljøkvalitetskrav (MKK) findes for naphthalen og anthracen, men er langt over ERL, derfor er MKK placeret nederst i tabellerne. * Naphthalen er kun to-ringet, ikke en ægte PAH. Resultater > DG angiver, hvor mange resultater, der er fundet over detektionsgrænsen.

	Naphthalen*	Anthracen	Fluoranthen	Pyren	Benz(a)-anthracen	Benzo(ghi)-perylen	Benzo(a)-pyren	Indeno-(1.2.3-cd)-pyren
Direkte								
Resultater > DG (%)	100	70	88	88	100	96	92	100
Under BAC (%)	18	24	29	24	30	50	35	45
Under ERL (%)	100	100	100	100	100	50	96	90
Over ERL (%)	0	0	0	0	0	50	4	10
Under MKK (%)	100	100	Ikke def.	Ikke def.	Ikke def.	Ikke def.	Ikke def.	Ikke def.
Normaliseret til 2,5 % TOC								
Under BAC (%)	54	50	39	33	50	17	42	82
Under ERL (%)	100	100	96	100	96	17	100	100
Over ERL (%)	0	0	44	0	4	83	0	0
Under MKK (%)	100	100	Ikke def.	Ikke def.	Ikke def.	Ikke def.	Ikke def.	Ikke def.

Blødgørere og alkylphenoler

Der er i 2016 fastsat nationalt miljøkvalitetskrav for nonylphenol og octylphenol i sediment. Disse krav var overskredet i to prøver (8 %) for nonylphenol og ingen prøver for octylphenol, efter normalisering til f_{oc} (100 % TOC). Overskridelserne blev fundet i Skælskør Fjord og Skælskør Nor. Der er ingen OSPAR- eller EU-kriterier for sedimenter. Der blev detekteret alkylphenoler over detektionsgrænsen i mindst halvdelen af prøverne, og nonylphenol-di-ethoxylat (NPDET) i alle prøverne. Phthalater blev fundet i de fleste sedimenter, for DEHP og DINP op til 130-145 mg kg⁻¹ i Skælskør Fjord og Vejle Inderfjord. Men der er ikke vurderingskriterier for disse stoffer.

Organotin

For TBT var 67 % af prøverne under detektionsgrænsen på ~2 µg TBT kg⁻¹ tørstof. Svenskerne er i en nylig risikovurdering kommet frem til miljøkvalitetskrav for TBT i sediment på 0,8 µg kg⁻¹ tørstof normaliseret til 2,5 % TOC, idet det vurderes, at højere TBT-koncentrationer kan forårsage alvorlige effekter på bundlevende dyr (*Havs- og Vattenmyndigheten 2015*). Sammenlignet med dette miljøvurderingskriterium kan koncentrationsniveauet af TBT udgøre en risiko for havmiljøet i 33 % af prøverne. Den højeste normaliserede værdi var 62 µg TBT kg⁻¹ tørstof i Faaborg Fjord.

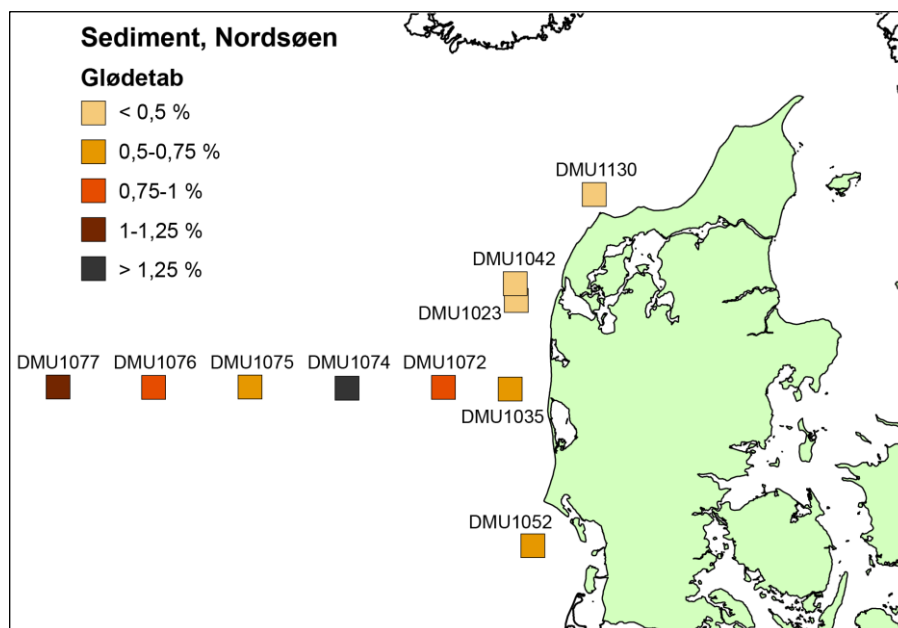
Dioxin/furaner og dioxinlignende PCB'er

Dioxinlignende stoffer målt i alle sedimentprøverne i koncentrationer på 0,25-7,1 g TEQ kg⁻¹ tørstof, og tre prøver fra hhv. Aarhus Bugt, Lillebælt og Øresund skilte sig ud med 2-3 gange højere total WHO-TEQ-værdier end medianværdien på 2,9 ng TEQ kg⁻¹ tørstof efter normalisering til 2,5 % TOC. Der forefindes ingen BAC-, EAC-, EQS- eller MKK-værdier, der kan anvendes som miljøvurderingskriterier for de dioxinlignende stoffer i sediment.

Sediment fra Nordsøen

Der blev i 2015 indsamlet ti sedimentprøver fra Nordsøen. De blev alle taget i områder med et lille indhold af ler-silt og organisk materiale. Da flere af TOC-værdierne lå under detektionsgrænsen, er glødetab anvendt til at beregne en teoretisk TOC-værdi for at kunne foretage normaliseringen til sammenligning med OSPAR-kriterier og danske kriterier. Der blev anvendt en faktor fire mellem glødetab og TOC, en erfaringsværdi fra sandede sedimenter i andre områder. Normaliseringen er behæftet med stor usikkerhed pga. de lave målte glødetab/TOC-indhold (højeste målte TOC var 0,3 %, glødetab mellem 0,3 og 1,4 %). Korrektionsfaktoren for 5 % TOC er en faktor 4-12.

Figur 11.2. Prøvetagning af sedimenter i Nordsøen, hvor farven angiver det målte glødetab på de enkelte stationer. Glødetab er anvendt til normalisering af organiske forureninger, da TOC generelt var under detektionsgrænsen.



Metaller

Metallerne skal efter OSPARs guideline normaliseres til 5 % Al. Da alle sedimenterne er mere eller mindre sandede, betyder normaliseringen, at data ganges med en faktor 6-30. Som det fremgår af *tabel 11.10* blev alle resultaterne i udgangspunkt lavere end BAC-kriterierne, men efter normalisering var kun Cu- og i nogen udstrækning Ni-koncentrationen tæt på baggrundsniveauet i 70-100 % af prøverne. Både Zn, Hg og især Pb lå over ERL-grænsen efter normalisering. Dette problem optræder også i OSPAR regi, hvor spanske og portugisiske data ikke normaliseres, fordi prøverne er fra meget sandede sedimenter, men sammenlignes direkte med et lavere lokalt BAC. Alle de danske prøver fra Nordsøsedimenter lå under disse sydeuropæiske grænser før normalisering. Hvis det ikke er muligt at finde lokaliteter med højere ler-silt/organisk indhold langs vestkysten, bør det overvejes enten at etablere lokale Nordsø-baggrundskoncentrationer ved at analysere på sandfraktionen af prøverne eller udføre analyserne på ler-silt fraktionen (< 63 µm eller < 20µm for rent ler) af sigtede prøver.

PAH

De organiske forureninger normaliseres til 2,5 % TOC, men da der er flere TOC-resultater under detektionsgrænsen, blev data normaliseret til 10 % glødetab, hvilket i åbne vande svarer nogenlunde til 2,5 % TOC. Det betyder, at resultaterne alle ganges med en faktor 2-7, altså noget mindre end for metallerne. Sammenligning med miljøkvalitetskrav og kriterier er vist i *tabel 11.11*. Inden normalisering var alle resultaterne under BAC, og der var påvist de enkelte PAH'er i en (naphthalen) til ni prøver (chrysen/triphenylen og indeno(1,2,3-cd)pyren) ud af ti prøver. Efter normalisering var der en til syv PAH'er over BAC (chrysen/triphenylen og benzo(a)pyren hhv. syv og seks ud af 10 prøver), men forsat ingen over ERL i to prøver, mens alle øvrige PAH'er var stadig under ERL efter normalisering.

Tabel 11.10. Indholdet af en række metaller i sediment fra Nordsøen angivet som procentdel prøver (n = 10) under eller over OSPARs BAC- og ERL-kriterier, direkte og efter normalisering til 5 % AI. Bemærk at ERL ikke er defineret for Ni. Bemærk yderligere at 'Under ERL' angiver procentdel af prøver mellem BAC og ERL. De nationalt fastsatte miljøkvalitetskrav (MKK) for Cd og Pb er under BAC, og de er derfor placeret som det første kriterium. Resultat > DG angiver hvor mange resultater, der er fundet over detektionsgrænsen.

Direkte	Zn	Cu	Hg	Cd	Ni	Pb
Resultater > DG (%)	100	100	100	70	100	100
Under MKK (%)	Ikke def.	Ikke def.	Ikke def.	100	Ikke def.	100
Under BAC (%)	100	100	100	100	100	100
Under ERL (%)	100	100	100	100	Ikke def.	100
Over ERL (%)	0	0	0	0	ikke def.	0
Normaliseret til 5 % AI						
Under MKK (%)	Ikke def.	Ikke def.	Ikke def.	40	ikke def.	20
Under BAC (%)	50	100	0	50	70	20
Under ERL (%)	60	100	60	100	Ikke def.	30
Over ERL (%)	40	0	40	0	ikke def.	70

Tabel 11.11. Indholdet af PAH i sediment fra Nordsøen opgjort som den procentvise andel af prøver (n = 10) under eller over OSPARs BAC- og ERL-kriterier, dels direkte på de målte koncentrationer og efter normalisering til 10 % glødetab (~2,5 % TOC). Nationalt fastsatte miljøkvalitetskrav (MKK) findes for naphthalen og antracen, men de er væsentligt større end ERL, og MKK er derfor placeret nederst i tabellerne. * Naphthalen består af to aromatiske ringe og er der derfor ikke en ægte PAH. Resultat > DG angiver, hvor mange resultater, der er fundet over detektionsgrænsen.

	Naphthalen*	Antracen	Fluoranthen	Pyren	Benz(a)-anthracen	Chrysen/triphenylen	Benzo(a)-pyren	Indeno-(1.2.3-cd)-pyren
Direkte								
Resultater > DG (%)	10	50*	70	20	60	90	60	90
Under BAC (%)	100	100	100	100	100	100	100	100
Under ERL (%)	100	100	100	100	100	100	100	100
Over ERL (%)	0	0	0	0	0	0	0	10
Under MKK (%)	100	100	Ikke def.	Ikke def.	Ikke def.	Ikke def.	Ikke def.	Ikke def.
Normaliseret til 2,5 % TOC								
Under BAC (%)	90	40	70	80	90	30	40	90
Under ERL (%)	100	100	100	100	100	100	100	100
Over ERL (%)	0	0	0	0	0	0	0	0
Under MKK (%)	100	100	Ikke def.	Ikke def.	Ikke def.	Ikke def.	Ikke def.	Ikke def.

*: To resultater n.a. pga. interferens.

Blødgørere og alkylphenoler

Der blev detekteret nonylphenol i otte af de ti sedimentprøver fra Nordsøen (heraf en over det nationale MKK), men ingen octylphenol blev påvist. Nonylphenol diethoxylat blev fundet i ni prøver og monoethylethoxylat i to prøver. For phthalaterne blev diethylphthalat, DBP, DEHP og DINP påvist i 6-8 af prøverne.

Organotin

Der blev ikke påvist TBT i sedimenter fra Nordsøen.

Dioxin/furaner og dioxinlignende PCB'er

Dioxinlignende stoffer blev påvist i alle prøverne i koncentrationer under 0,8 ng WHO-TEQ kg⁻¹ TS. Efter normalisering til 2,5 % TOC var niveauet i sedimenterne fra Nordsøen sammenligneligt med niveauet i de indre danske farvande (0,06-5,5 ng WHO-TEQ kg⁻¹ TS mod 0,25-7,1 ng WHO-TEQ kg⁻¹ TS).

Biologiske effekter i havsnegle

Forekomsten af imposex anvendes som biologiske indikatorer for effekter forårsaget af miljøgiften tributyltin (TBT), der bl.a. har været anvendt i skibsmalinger. Selvom der er sket et stort fald i forekomsten af imposex i havsnegle i de danske farvande siden forbuddet mod brugen af TBT i 2003, viste undersøgelserne i 2015, at der stadigvæk i visse områder kan forekomme forhøjede niveauer af imposex (tabel 11.12). Hos rødkonk fra de åbne farvande i Skagerrak, Kattegat, Storebælt og Øresund var niveauerne af imposex stadigvæk forhøjede med indekssværdier (VDSI) > 0,3 (dvs. > BAC). Kun for rødkonk indsamlet i de internationale sejlrender i Storebælt og ved Anholt i Kattegat og for purpurnegl indsamlet ved Skagens Gren var niveauet i 2015 også så højt, at VDSI-værdien var større end 2 (dvs. > EAC), hvilket svarer til, at 86-100 % af sneglene udviste imposex. Dette betyder, at effekter af TBT stadigvæk er et miljøproblem i det danske havmiljø. Derimod blev imposex i den mindre følsomme almindelig konk ikke fundet i nogle af de undersøgte områder i de åbne farvande (VDSI = 0, dvs. < EAC). Der blev ikke foretaget undersøgelser af imposex i de mere kystnære farvande i 2015.

Tabel 11.12. Forekomsten af imposex i tre arter af havsnegle indsamlet i de åbne farvande i 2015, hvor niveauerne er vurderet i henhold til OSPARs miljøvurderingskriterier for imposex beskrevet i tabel 11.4. Almindelig konk var ikke følsom nok til at skelne mellem miljøklasserne I og II (VDSI-værdier < 0,3).

OSPARs vurderingsklasser for imposex og intersex						
VDSI-data fra 2015	Antal stationer	0 (ingen imposex)	I (> 0-BAC)	II (> BAC-EAC)	III (> EAC)	IV – V (>> EAC)
Purpurnegl	1	0	0	0	1	0
Rødkonk ^A	4	0	0	3	1	0
Almindelig konk ^B	12	12	0		0	0

^A For rødkonk er vurdering gjort på baggrund af fire farvandsområder i stedet for på stationsniveau pga. begrænset antal individer indsamlet ved de forskellige stationer.

^B For almindelig konk og dværgkonk er BAC = II = EAC.

Sammenfatning

- Det overordnede billede af den tidlige udvikling af niveauet af de forskellige stofgrupper er faldende eller ingen trends for perioden 2004-2015. Dette gælder dog ikke for visse metaller som cadmium og bly, hvor der blev observeret stigende trends i muslinger og fisk i nogle områder.
- I 2015 var koncentrationsniveauer af en række miljøfarlige stoffer i sediment, muslinger og/eller fisk fra de danske farvande højere end EU's miljøkvalitetskrav (dvs. EQS-værdier), de nationale fastsatte miljøkvalitetskrav (MKK) eller andre sammenlignelige internationale miljøvurderingskriterier (dvs. OSPARs EAC- eller ERL-værdier). Dette gjaldt for kviksølv (Hg) og andre tungmetaller, organotin (TBT), tjærestoffer (PAH) og bromerede flammehæmmere (for PBDE, men ikke for HCBDD). For disse stoffer er der en risiko for, at de kan have uønskede effekter i vandmiljøet og dermed have betydning for, om lokale danske vandområder kan opnå god økologisk tilstand. Der var dog ingen umiddelbare overskridelser af de fastsatte fødevarekrav. For stofgrupperne perfluorerede stoffer (PFAS), klorerede pesticider (DDT, HCH og lign.), dioxiner og PCB blev der ikke fundet overskridelser af de anvendte miljøvurderingskriterier, selvom der lokalt var forhøjede niveauer.
- Normalisering af data har stor betydning for tolkningen af resultater i forhold til de anvendte vurderingskriterier. Dette gælder normalisering af både biota og sediment. For biota kan normalisering til lipidindholdet for de lipofile stoffer medføre en matrice-afhængig øgning eller sænkning

i forhold til de ikke-normaliserede resultater. For sediment betyder en normalisering af metaller til 5 % Al oftest en øgning af de normaliserede koncentrationer i sandede prøver, hvorimod normalisering af organiske stoffer til 2,5 % TOC giver både højere og lavere værdier afhængigt af indholdet af naturligt organisk materiale.

- Indholdet af alle metaller og organiske stoffer i sedimentprøver fra Nordsøen var under OSPARs BAC-niveau før normalisering. Men efter normalisering var indholdet generelt på niveau med koncentrationerne i de indre danske farvande.
- Hg: Indholdet af Hg i alle fiskeprøver overskred EU's EQS-værdi med 2-13 gange. I 36 % af muslingerne var EQS-værdien også overskredet. For sediment var 37 % over ERL-værdien.
- Andre tungmetaller: I muslinger var niveauet af Cd og Pb over de nationalt fastsatte MKK-værdier i hhv. 34 % og 72 % af prøverne. Fødevarekravene var dog ikke overskredet i hverken muslinger eller fisk, hvis der ses bort fra indholdet af Cd i to lever-prøver fra fisk. I sediment var indholdet af tungmetallerne Cd, Pb, Cu, Zn, Cr og Zn højere end OSPARs ERL-værdier i 8-29 % af de analyserede prøver.
- TBT: I muslinger var niveauet af TBT over EAC-værdien i 47 % af prøverne. Derudover blev TBT sammen med det beslægtede stof triphenyltin også fundet i ålekvabbe fra to kystnære stationer. For sediment var 33 % af prøverne over det svenske miljøkvalitetskrav svarende til EQS for sediment.
- PAH: I muslinger var niveauet af benzo(b,j,k)fluoranthener over EQS-værdien i 27 % af prøverne, mens niveauerne ikke var overskredet for de andre PAH'er. For sediment forekom der overskridelser af OSPARs ERL-værdier for benzo(g)perylene i 83 % af prøverne, samt fluoranthen og benz(a)anthracen i en prøve efter normalisering til 2,5 % TOC. Indholdet af benzo(a)pyren og indeno(1,2,3-cd)pyren var ikke højere efter normalisering, men 1-2 prøver med højt TOC-indhold var over ERL før normalisering.
- Dioxinlignende stoffer og PCB: Indholdet af de dioxinlignende stoffer var i alle prøver af fisk og muslinger under EQS-værdien. Det kan dog ikke udelukkes, at indholdet af dioxinlignende stoffer kan være overskredet i fisk indsamlet fra to kystnære områder, da ikke alle relevante dioxinlignende PCB-congener blev medtaget i analyseprogrammet og dermed i beregningerne af TEQ-værdi. For PCB-congenerne CB118 og CB153 i fisk lå niveauet i alle prøver af skrubbe også under OSPARs EAC-værdi. Dioxinlignende stoffer blev påvist i alle sedimentprøver, men der forefindes ingen BAC-, EAC-, EQS- eller MKK-værdier for disse.
- PBDE: Indholdet af PBDE i alle prøver af fisk overskred EU's EQS-værdi med 16-37 gange.
- Alkylphenoler og blødgørere (phthalater): Der er nationale kvalitetskrav til nonylphenol og octylphenol i sediment, og nonylphenol overskred disse i tre prøver. Octylphenolerne detekteres sjældnere, og ingen af de detekterede niveauer var over MKK. Phthalater blev påvist i alle prøver, de højeste værdier for DINP og DEHP. Men der er ikke vurderingskriterier for disse stoffer.
- Biologiske effekter: Trods et stort fald i forekomsten af imposex i de åbne farvande siden forbuddet mod brugen af TBT i 2003 viste undersøgelserne i 2015, at der i Kattegat og Storebælt stadigvæk kan forekomme forhøjede niveauer af imposex, som ligger over den fastsatte EAC-værdi. Belastningen med TBT og de deraf følgende effekter udgør derfor stadigvæk et miljøproblem i det danske havmiljø.

Forkortelser

Forkortelse	Betydning	Anvendelse
NST	Naturstyrelsen, Miljø og Fødevareministeriet	Danmark
OSPAR	Oslo-Paris konventionen	Nordsø-havkonvention
HELCOM	Helsinki konventionen	Østersø-konventionen
EU	Europæiske Union	Europa
US-EPA	Amerikansk miljømyndighed	Nordamerika

Vurderingskriterier

BAC	Baggrundsvurderingskriterie (Background Assessment Criteria)	OSPAR
EAC	Miljøvurderingskriterie (Environmental Assessment Criteria)	OSPAR
EQS	EU-fastsatte miljøkvalitetskrav (Environmental Quality Standard)	EU
ERL	Miljøvurderingskriterie for sediment (Effect Range Low)	US-EPA, adopteret OSPAR
MKK	Nationalt fastsatte miljøkvalitetskrav	Danmark

Basis for analyse

VV	Vådvægt	Frisk prøve, inkl. vandindhold
TV	Tørvægt	Tørret prøve, ekskl. vandindhold
LV	Lipidvægt	Relativt til fedtindhold
TOC	Total organisk kulstofindhold (Total Organic Carbon)	Relativt til indhold af naturligt organisk materiale

Miljøfarlige stoffer

As, Pb, Cd, Cr, Hg, Ni og Zn, Ag	Tungmetaller: arsen (As), bly (Pb), cadmium (Cd), krom (Cr), kviksølv (Hg), nikkel (Ni), zink (Zn) og sølv (Ag)
DDE, HCB, og HCH	Klorerede pesticider: dichlorodiphenyldichloroethylene (DDE, som er et nedbrydningsprodukt af DDT), hexachlorbenzen (HCB) og hexachlorocyclohexane (HCH)
PAH	Polycykliske aromatiske hydrocarboner
PBDE	Poly-brominated diphenyl ethers
PFAS	Perfluorerede alkylerede stoffer
PFDA, PFHxS, PFNA, PFOA, PFOS, PFOSA og PFUnA	Perfluorerede alkylerede stoffer: PFDA (perfluordecansyre), PFHxS (perfluorhexansulfonsyre), PFNA (perfluornonansyre), PFOA (perfluoroctansyre), PFOS (perfluoroctansulfonsyre), PFOSA (perfluoroctansulfonamid) og PFUnA (perfluorundecansyre)
PCB og CB118	Poly-chlorerede biphenyler, som består af en række kongener, herunder CB118
TBT	Tributyltin
TEQ	Toksicitetsækvivalenter for dioxiner, furaner og dioxinlignende PCB'er, baseret på WHO (2005)
DEHP, DEP, DBP, DnOP og DINP	Phthalater: di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP), diethyl phthalate (DEP), di(n-butyl) phthalate (DBP), di-n-octyl phthalate (DnOP) og di-isononyl phthalate (DINP)
NPMET og NPDET	Nonylphenol derivater: NPMET (nonylphenol monoethoxylate), og NPDET (nonylphenol diethoxylate)
VDSI	Vas Deferens Sekvens Indeks som mål for intensiteten af imposex i en population af havsnegle

Del 3 – Sammenfattende diskussion

Jens Würgler Hansen

I Danmark er der intet sted længere end ca. 50 km til kysten. Danmarks kyststrækning er på godt 7.000 km, hvilket sammenlignet med andre lande er meget i forhold til landets størrelse. Det betyder, at der er en tæt kontakt mellem land og hav og derfor en meget stor og for mange områder relativ hurtig transport af vand og stof fra land til fjorde og øvrige kystnære vandområder. Desuden er de danske farvande generelt lavvandede og påvirkes derfor lettere af tilførsler end dybe havområder med stort vandvolumen.

De danske farvande er karakteriseret ved en stor variation i fysisk-kemiske såvel som biologiske forhold. Farvandene ligger i overgangszonen mellem den brakke Østersø og den salte Nordsø. De repræsenterer således et vidt spænd af forskellige økosystemer fra små lukkede nor med stillestående vand og lav saltholdighed til åbne farvandsområder med høj saltholdighed og stor gennemstrømning. Endvidere er de danske farvande kendetegnet ved en stor dynamik som følge af den markante påvirkning fra land, de mange gennemstrømningsområder og den store år til år variation i de klimatiske forhold.

Miljø- og naturkvaliteten er stærkt påvirket af menneskelig aktivitet. Den høje befolkningstæthed, den intensive udnyttelse af det åbne land samt den industrielle produktion resulterer i udledninger af forurenende stoffer til havet. Hertil kommer belastning fra yderligere aktiviteter på havet i form af erhvervsfiskeri, akvakultur, skibstrafik, ral- og sandsugning, klapning, byggeri samt olie- og gasudvinding og anden offshore industri. Endelig er de danske farvande påvirket af belastning fra nabolandene via havstrømme og atmosfærisk deposition.

Det danske overvågningsprogram er i overensstemmelse med vandrammedirektivet, havstrategidirektivet og habitatdirektivet tilrettelagt med fokus på 1) eutrofiering, 2) miljøfarlige stoffer og 3) beskyttede naturtyper og arter. Grundet ovenfor omtalte tætte kontakt mellem land og hav, den store variation og dynamik samt den anselige belastning er der i Danmark behov for et relativt omfattende overvågningsprogram med mange målestationer og en høj prøvetagningsfrekvens.

NOVANA-programmet har til formål at tilvejebringe et datagrundlag for en overordnet beskrivelse af tilstanden og udviklingen i miljø- og naturforholdene samt en vurdering af, om miljømålsætningerne for de forskellige farvandsområder er opfyldt. Det forudsætter, at overvågningen er koordineret og landsdækkende, og at alle metoder og procedurer for prøvetagning, analyser, dataoverførsel og rapportering er harmoniseret, velbeskrevet og veldokumenteret.

Den viden, som erhverves om miljøtilstanden i kraft af overvågningsprogrammet, er afgørende for at kunne vurdere effektiviteten af politisk besluttede miljøforbedrende tiltag. Kun med et fagligt afbalanceret og geografisk dækkende overvågningsprogram er det muligt at bibeholde en videnbaseret forvaltning af de danske marine områder.

12 Tilstand og udvikling

Jens Würgler Hansen

Denne sammenfattende beskrivelse af miljø- og naturtilstanden i de marine områder giver et landsdækkende billede af situationen i 2015 samt af udviklingen siden iværksættelsen af den første vandmiljøhandlingsplan (slut 80'erne) og diskuterer årsagerne til den nuværende miljø- og naturtilstand.

Klimatiske forhold

Året 2015 var varm med en gennemsnitlig lufttemperatur 1,4 °C over langtidsnormalen (1961-1990), svarende til niveauet for perioden 2001-2010, men køligere end rekordvarme 2014. Det var især i årets første og sidste måneder, at temperaturen var højere end normalen, idet hverken foråret eller sommeren (undtagen august) var speciel varm.

Vindmæssigt lignede 2015 et normalår ved at være domineret af vinde fra sydvest undtagen i juli og september, hvor vinden hovedsageligt kom fra øst. Modsat tendensen fra de senere år var 2015 kendetegnet ved forholdsvis meget vind, hvilket især var udtalt i sommerperioden. Der var seks storme i løbet af året fordelt med tre i januar, to i november og en i december.

Indstrålingen i 2015 var over normalen, men på niveau med perioden efter 2001. Indstrålingen var relativ høj i april og august-september. Nedbørmængden og dermed afstrømningen fra land var en del over normalen og noget over gennemsnittet for perioden 2001-2010, hvilket skyldtes megen nedbør i årets start og slutning.

Havvandstemperaturen var 1-2 °C højere end normalen med undtagelse af maj-juli, hvor temperaturen i overfladevandet lå omkring normalen. Bundvandstemperaturen lå omkring normalen ved årets start, men var 1-2 °C højere end normalen i anden halvdel af året. Havtemperaturen i de danske farvande er steget 1-1½ °C i løbet af de sidste 30-40 år, og var i 2015 på niveau med gennemsnittet for perioden siden 2000.

Koncentrationer af næringsstoffer

Månedsmidlerne for kvælstofkoncentrationerne i fjorde og kystnære områder og de åbne indre farvande var generelt lave i 2015 og lå væsentligt under langtidsmidlen (1989-2013) bortset fra i årets start og slutning, hvor der var en stor afstrømning fra land. I modsætning til tidligere år blev der ikke registreret rekordlave månedsmidler af hverken opløst, uorganisk kvælstof (DIN), organisk kvælstof eller total kvælstof (TN) i fjorde og kystnære områder. Et næsten tilsvarende mønster gjorde sig gældende for overfladevandet i de åbne indre farvande, hvor der var lave kvælstofkoncentrationer bortset fra i årets start og slutning. Dog var koncentrationen af organisk kvælstof relativ høj i marts og april som følge af den tidlige og markante forårsopblomstring. Månedsmidlerne for organisk N i januar og TN i august og september var rekordlave i de åbne indre farvande.

Fosforkoncentrationerne i fjorde og kystnære områder i 2015 var ca. på niveau med langtidsmidlerne til og med april. Resten af året lå koncentrationerne for opløst, uorganisk fosfor (DIP) og total fosfor (TP) markant under langtidsmidlen, mens koncentrationerne af organisk fosfor kun lå lidt under langtidsmidlen. Koncentrationen af DIP i april og august-september og kon-

centrationen af TP i august var de hidtil laveste registrerede. I de åbne indre farvande var fosforkoncentrationerne relativt højere i forhold til langtidsmidlen, end det var tilfældet i fjorde og kystnære områder. Dette var særlig udtalt for organisk P, som lå langt over langtidsmidlen i de første fire og de sidste to måneder af året. I årets start skyldtes de høje niveauer af organisk fosfor den markante forårsblomstring.

Kvælstof- og fosforkoncentrationerne i fjorde og kystnære områder samt i de åbne indre farvande er faldet markant siden 1989, hvilket er en positiv effekt af vandmiljøplanerne og tilsvarende aktiviteter i vores nabolande. Koncentrationerne har dog været stagnerende for DIN siden 2003 og generelt for fosfor siden 1998. Årsmidlerne for total kvælstof og total fosfor i 2015 var på niveau med koncentrationerne de senere år, dvs. fortsat på et relativt lavt niveau.

De faldende næringsstofkoncentrationer har bevirket, at både kvælstof og fosfor er blevet potentielt begrænsende for den planktoniske primærproduktion (algevæksten) i en stadig større del af vækstperioden. Det betyder, at en yderligere reduktion af begge næringsstoffer må forventes at begrænse algevæksten endnu mere. Derfor kan den interne tilførsel af næringsstoffer fra bunden i år med meget iltsvind være en væsentlig kilde til næringsstoffer i nogle områder. Men også denne kilde mindskes, efterhånden som puljen i bunden langsomt udtyndes, hvilket dog forudsætter en fortsat lav tilførsel af næringsstoffer fra land og luft.

Planteplankton, dyreplankton og vandets klarhed

Forholdene i de frie vandmasser var relativt gode i 2015, selv om de ikke helt var på niveau med 2013 og 2014.

Sigtdybden (vandets klarhed) i 2015 var på niveau med langtidsmidlen (1989-2014) det meste af året i fjorde og kystnære områder, mens den lå markant under langtidsmidlen i starten og slutningen af året samt i april-maj i de åbne indre farvande. Årsmidlen i 2015 var på niveau med langtidsmidlen for fjorde og kystnære farvande og lidt større end langtidsmidlen for de åbne indre farvande. Sigtdybden i de åbne indre farvande steg signifikant i perioden 1989-2005, mens der var en aftagende tendens i perioden 2006-2011 – en udvikling som blev brudt af de høje værdier i 2012, 2013 og 2014. For fjorde og kystnære områder har der ikke været nogen tydelig udviklingstendens for sigtdybden.

Klorofylkoncentrationerne i 2015 viste den sædvanlige fordeling med en markant forårsopblomstring og en moderat efterårsopblomstring. Niveauet lå under langtidsmidlen (1989-2014) i alle årets måneder for fjorde og kystnære områder og for de fleste af årets måneder i de åbne indre farvande. Årsmidlen for klorofyl i 2015 var lidt højere end i 2014, men dog markant lavere en middelværdien for langtidsmidlen både i fjorde og kystnære områder. I de åbne indre farvande var årsmidlen for klorofyl på niveau med langtidsmidlen. Årsmidlen er faldet signifikant siden 1989 for fjorde og kystnære områder, mens dette ikke er tilfældet for de åbne indre farvande. I de åbne indre farvande har der været en signifikant stigning i årsmidlen for 2000-2011, en tendens som blev brudt af de lave værdier i 2012, 2013 og 2014.

Planteplanktonets vækst (primærproduktion/algevækst) i 2015 var i størstedelen af året på niveau med eller lavere end langtidsmidlen (1975/1977-2014) både i fjorde og kystnære områder og i de åbne indre farvande. I fjorde og

kystnære områder var der en markant forårsopblomstring med en vækst langt over niveauet for langtidsmidlen pga. den store tilførsel af næringsstoffer fra årets start. Årsmidlen for væksten i 2015 svarede både i fjorde og kystnære områder og i de åbne indre farvande til niveauet for de seneste år, som ligger noget under gennemsnittet for hele overvågningsperioden. Planteplanktonets vækst er faldet signifikant gennem overvågningsperioden, og ændringen kan statistisk kobles til den reducerede tilførsel af næringsstoffer.

Kulstofbiomassen af planteplankton er steget signifikant om end svagt siden 1989 i fjorde og kystnære områder, mens der ikke har været nogen signifikant udvikling i de åbne indre farvande. Forholdet mellem kiselalger og furealger er ca. dobbelt så stort i fjorde og kystnære områder som i de åbne indre farvande. Kiselalgerne andel af biomassen var lav i 2015 i forhold til det normale niveau især i fjorde og kystnære områder, mens furealgerne andel var på et normalt niveau.

I 2015 blev der rapporteret forekomster af toksiske arter af planteplankton (*Dinophysis* spp. og *Pseudo-nitzschia* spp.). I de fleste tilfælde var forekomsterne dog mindre end grænseværdierne for muslingefiskeri.

Biomassen af ciliater i 2015 var forøget i forhold til 2014 især i fjorde og kystnære områder, mens biomassen af det øvrige mikro-dyreplankton var på samme lave niveau som de seneste år.

Ilthforhold

Iltsvindets udbredelse i 2015 var markant større end for 2010-2012 og på niveau med udbredelsen i 2013 og 2014, selv om 2015 var relativt kølig og blæsende sammenlignet med 2013 og 2014. Dette indikerer, at havbundens bufferkapacitet imod iltsvind, dvs. iltning af havbunden, som tilsyneladende blev opbygget i 2010-2012, var opbrugt i 2015.

Iltsvindet startede forholdsvis tidligt og udviklede sig hen over sommeren. Blæsende vejr i slutningen af august dæmpede iltsvindets udvikling kortvarigt, mens kraftig blæst midt i september og starten af oktober forbedrede forholdene, og kraftig blæst igen midt i november fjernede langt størstedelen af det resterende iltsvind. De mere blæsende forhold i 2015 betød, at de mere lavvandede områder, herunder især Limfjorden, oplevede markant mindre iltsvind i 2015 end i 2014. Iltsvindet i 2015 forekom hovedsageligt i de dybere områder i Lillebælt, Det Sydfynske Øhav samt Femern Bælt og Lübeck Bugt, mens iltsvindet i 2014 hovedsageligt var i fjorde og kystnære områder. Nogle steder var der kraftigt iltsvind, iltfrit i bundvandet og frigivelse af giftig svovlbrinte fra havbunden.

Det samlede areal berørt af iltsvind i 2015 var betydeligt forøget i forhold til det relativt lave niveau i 2010-2012, men på niveau med udbredelsen i 2013 og 2014. Den forøgede udbredelse af iltsvind trods relativt gunstige klimatiske forhold viser, at de indre danske farvande fortsat er så eutrofierede, at iltsvind kan udvikle sig meget markant i større områder, især hvis der forekommer perioder med svage vinde og høje temperaturer.

Ilthindholdet i bundvandet i de danske farvande har overordnet udvist en tendens til et fald vurderet for hele overvågningsperioden og var i 2015 på et meget lavt niveau i fjorde og kystnære områder og på et relativt lavt niveau i de åbne indre farvande. Derimod har der de seneste 10 år været en positiv

udvikling i de mere åbne dele af de indre danske farvande. Udviklingen af iltindholdet i bundvandet er dog karakteriseret ved store regionale forskelle.

Bundplanter

Makroalgernes gennemsnitlige totale og kumulerede dækningsgrad på stenrev i de åbne farvande er steget signifikant i overvågningsperioden (1989-2015). Den totale algedækning på fem udvalgte stenrev i Natura 2000-områder i Kattegat var generelt god i 2015 og stort set på niveau med dækningsgraderne i 2013 og 2014, hvilket formodentlig bl.a. hænger sammen med de relativt gode forhold i de frie vandmasser de seneste år.

Bundfauna

Bundfaunaen er mindsket i artsantal (biodiversitet), individtæthed og biomasse i fjordene siden 1998, mens der ikke var nogen udvikling for nogen af parametrene i de åbne kyster. Dette viser, at den mindskede næringsstofpåvirkning (oligotrofiering) har haft størst effekt på bundfaunaen i fjordene, hvor ændringen i påvirkningen også har været mest markant.

Biodiversitet, biomasse og individtæthed i de åbne farvande blev omtrent halveret fra 1994 til 2008 for efterfølgende at stige igen. Biodiversiteten og individtætheden i 2015 var den hidtil højeste siden 2008. Artsrigdommen og individtætheden er meget påvirket af mellemårige variationer i rekrutteringen, men årsagerne til disse variationer er ikke kendt.

En sammenstilling af data fra 2015 indikerer, at biodiversiteten og individtætheden i Nordsøen er væsentlig mindre end i Kattegat.

Bestanden af hestemusling er gået tilbage på flere revlokaliteter.

Sæler og marsvin

Spættet sæl er den mest almindelige sælart i Danmark. Bestanden er steget fra ca. 2.000 dyr i 1976 til ca. 17.000 dyr i 2015 overvejende som resultat af jagtfredningen i 1977 samt oprettelsen af en række sælreservater. I overvågningsperioden er spættet sæl blevet ramt af store virus epidemier i 1988 og 2002, som reducerede bestanden med henholdsvis ca. 20 og 40 %, samt mindre epidemier i 2007 og 2014.

Gråsælen var frem til 1800-tallet en almindelig sælart i de danske farvande, hvor den yngede frem til omkring 1900. Efter at have været udryddet i Danmark i ca. 100 år er gråsælen nu genindvandret og begyndt at yngle igen i de danske farvande. Gråsælen har været i fremgang de seneste godt 10 år, og i 2015 blev der observeret en del gråsæler i både Vadehavet, Kattegat og især i Østersøen.

Marsvin er Danmarks mest almindelige hval, og den eneste som med sikkerhed yngler i landet. Størrelsen af bestandene på de forskellige lokaliteter varierer meget inden for de enkelte år og mellem årene. I 2015 blev der generelt registreret væsentlig færre dyr end i 2014. Marsvin er vidt udbredt i de danske farvande, og der blev i overensstemmelse hermed registreret marsvin i alle de undersøgte farvandsområder.

Miljøfarlige stoffer og biologiske effekter

I 2015 blev der for de fleste stoffer og i de fleste områder fundet lave koncentrationer af miljøfarlige stoffer. Men for en række stoffer var koncentrationsniveauerne i sediment, muslinger og/eller fisk fra de danske farvande i nogle

områder højere end de internationale miljøkvalitetskrav. Dette var tilfældet for kviksølv (Hg) og andre tungmetaller, organotin (TBT), enkelte tjærestoffer (PAH), bromerede flammehæmmere (PBDE), som derfor udgør en risiko for uønskede effekter i vandmiljøet. For andre stofgrupper som dioxiner, perfluorerede stoffer (PFAS) og klorerede pesticider (DDT, HCH) blev der ikke fundet overskridelser af de anvendte miljøvurderingskriterier, selvom der lokalt var forhøjede niveauer.

Undersøgelse af imposex i havsnegle i 2015 viste, at der trods et stort fald i forekomsten af imposex i de åbne farvande siden forbuddet mod brug af TBT i bundmaling i 2003 stadig er forhøjede niveauer af imposex i nogle områder af Kattegat og Storebælt.

Diskussion

Forholdene i de danske farvande i 2015 var ikke lige så gode som i 2012-2014 men fortsat markant bedre end tidligere. I forhold til 2011 var sigtddybden lidt forøget, mens mængden af klorofyl og primærproduktionen var mindsket (primærproduktion dog kun i de åbne indre farvande). Yderligere var udbredelsen af makroalger på stenrev markant forøget i forhold til i starten af overvågningsperioden (1989).

Næringsstofkoncentrationerne i de danske farvande i 2015 var som i de senere år meget lave sammenlignet med niveauet i slutningen af 1980'erne og starten af 1990'erne, og for nogles vedkommende de hidtil laveste siden 1989. De lave koncentrationer af næringsstoffer er afgørende for en positiv udvikling af de biologiske parametre. Trods den markant reducerede tilførsel af næringsstoffer og de deraf affødte lave næringsstofkoncentrationer er tilstanden dog stadig ikke tilfredsstillende for langt de fleste af de overvågede biologiske parametre, men udviklingen peger i den rigtige retning.

Ifølge den klassiske systemforståelse forventes reducerede næringsstofkoncentrationer at resultere i lavere primærproduktion og dermed en reduktion i mængden af planteplankton, større sigtddybde, mindre iltvind og større udbredelse af bundplanter. Selv om næringsstofniveauet har været markant reduceret i en længere årrække, er denne forventede positive udvikling først startet de senere år. Årsagen til den forsinkede respons på de lave koncentrationer af næringsstoffer er uklar og kan ikke udredes udelukkende på baggrund af overvågningsdata, da det kræver mere detaljerede undersøgelser. Miljøtilstanden bestemmes af et kompleks samspil af faktorer, hvor næringsstoffer kun er en af dem. Intensivt fiskeri kan fx påvirke størrelsesforholdet og dominansen af fiskearter og dermed sammensætningen af planteplankton, lige som den fysiske forstyrrelse af havbunden ved trawlfiskeri påvirker havbundens struktur og funktion. Desuden påvirker klimaforandringer havmiljøet bl.a. i form af stigende temperatur, som mindsker iltindholdet i vandet og dermed øger udbredelsen af iltvind og frigivelsen af næringsstoffer fra havbunden. Sidst men ikke mindst har grundlæggende strukturændringer i økosystemet som følge af mangeårig eutrofiering også været medvirkende til den langsomme respons på den reducerede tilførsel af næringsstoffer.

Miljøfarlige stoffer kan have en fundamental og nogle gange meget lokal effekt. En række miljøfarlige stoffer findes i områder på et niveau, hvor der kan forekomme skadelige effekter. Biologiske effekter af miljøfarlige stoffer er påvist i mange områder. Miljøfarlige stoffer kan også påvirke de indikatorer, der traditionelt anvendes til påvisning af effekter af eutrofiering, dvs.

primærproduktion, klorofylkoncentration og artsdiversitet. Forholdene kompliceres yderligere af, at de forskellige presfaktorer, fx næringsstoffer og miljøfarlige stoffer, kan forstærke hinanden (cocktaileffekt) og give anledning til yderligere negative effekter på miljøforholdene.

Iltsvindssituationen i 2015 var lige som i 2013 og 2014 værre end de tre foregående år, men dog bedre end tidligere. Der var tegn på, at havbundens bufferkapacitet mod iltsvind, dvs. iltning af bunden, var opbrugt i 2015. Systemet er således stadig sårbart, og længerevarende ugunstige klimatiske betingelser kan fortsat udløse markante iltsvind. Desuden er temperaturen steget 1-1½ °C over de sidste 30-40 år og forventes at stige yderligere i årene fremover, hvilket stimulerer udviklingen af iltsvind. Klimaforandringerne kan derfor også få afgørende indflydelse på ikke bare iltsvind, men miljøtilstanden mere generelt.

Sammenfattende er ændringerne i de marine økosystemer og de fortsatte påvirkninger så store og mangeartede, at det ikke kan forventes, at systemerne vender tilbage til tidligere observerede tilstande blot ved at fjerne én af påvirkningerne, fx eutrofiering. De danske marine økosystemer er fortsat sårbare for ændringer i tilførsler af næringsstoffer, miljøfarlige stoffer og effekter af fiskeri. De klimatiske betingede ændringer peger i retning af behov for yderligere reduktioner i tilførsler af næringsstoffer og andre tiltag for at opnå en god miljøtilstand. Nyere forskning viser, at selv hvis de væsentligste påvirkninger reduceres, vil marine økosystemer ikke nødvendigvis vende tilbage til den oprindelige tilstand, men i stedet finde en ny balance. Endvidere vil økosystemer, som har været hårdt belastet gennem en længere årrække, ofte have en tidsforsinkelse i deres respons på forbedrede forhold. Udviklingen mod en god miljøtilstand er således en proces, der kan tage mange år, og klimaforandringer vil kunne forsinke eller helt umuliggøre, at tidligere tilstande opnås. Dette komplekse økologiske samspil er vigtigt at dokumentere og forstå til gavn for fremtidens miljøforvaltning.

13 Ordliste

Ordlisten er baseret på NPO-redegørelsen (*Miljøstyrelsen 1984*), temarapporterne om zooplankton (*Nielsen & Hansen 1999*), giftige alger (*Kaas m.fl. 1999*) og bundmaling (*Foverskov m.fl. 1999*). Ordlisten er desuden suppleret af medarbejdere fra Det Marine Fagdatacenter.

A

ammoniak (NH₃) – er en gasart, som er letopløselig i vand. Det er en kemisk forbindelse mellem kvælstof og brint. Ammoniak har en meget kraftig lugt, som kendes fra salmiakspiritus.

ammonium (NH₄⁺) – er en kvælstofforbindelse, der indgår som en positiv ion i salte. Ammonium kan uden brug af energi omdannes til gassen ammoniak, NH₃.

analyser – et stof eller en stofgruppe der analyseres for fx Ni eller PCB'er.

antibegroningsmidler – er giftige kemiske forbindelser, der tilsættes maling. Maling med antibegroningsmiddel bruges på skibsbunde eller andre genstande, der skal være længe i vand eller fugtige miljøer for at undgå, at dyr og planter sætter sig på overfladen.

arter – defineres som en gruppe af organismer der kan parre sig med hinanden og samtidig få afkom, der kan formere sig.

assessment – engelsk for 'vurdering'.

ASP – er en forkortelse for den muslingeforgiftning, der fremkalder hukommelsestab eller amnesi. Forkortelsen er dannet ud fra den engelske betegnelse 'Amnesic Shellfish Poisoning'.

atmosfærisk nedfald – nedfald af næringsstoffer, tungmetaller og andre forurenende stoffer fra luften.

B

BAC – Background Assessment Criteria - baggrundsvurderingskriterium. OSPAR værktøj til statistisk vurdering af om koncentrationen af et miljøfarligt stof er tæt på eller under baggrundskoncentrationen. Værdien er fastsat ud fra en 'baggrundskoncentration' (muslinger fra uforurenede område eller sedimentsøjler dateret til præ-industrialiseret tid), eller lav koncentration for organiske stoffer. Til den lave værdi (LC) eller baggrundsværdien (BC) lægges analyseusikkerheden for at få et tal at foretage de statistiske sammenligninger med.

bioaktivt kvælstof – kvælstoffraktion, som kan udnyttes af alger til vækst.

biomasse – vægten af organismer i et bestemt område, enten rumfang eller areal.

biota – organismer, der anvendes til analyser.

bioturbation – bunddyrenes aktivitet med at rode godt og grundigt rundt i den øverste del af havbunden.

bufferkapacitet – se svovlbrintebufferkapacitet.

bundfauna – dyr som lever på og i havbunden.

C

celle – en celle er den mindste komplekse del af en organisme. Cellen består af en kerne med arvemateriale, som ligger i cellevæsken eller cytoplasma, omgivet af en cellemembran. Blågrønalger og bakterier har ikke nogen kerne, og arvematerialet ligger frit i cytoplasma.

ciliater – dyregruppe, der er meget almindelig i dyreplankton. Nogle ciliater kan udnytte kloroplasterne hos de alger, som de spiser. De kan derfor udføre fotosyntese og fungerer derved ligesom de mixotrofe alger.

co-variabel – en faktor, som forventes at følge med den undersøgte faktor. Kan normalt anvendes som normalisator. Fx Li som bindes til ler- og siltpartikler som andre metaller.

congen-mønster – se PCB.

copepoder – se vandlopper.

CYP1A – en familie af cytochromer, hvor niveauet øges/ induceres ved eksponering til især PAH og dioxiner. Biomarkør for tidlige tegn på uønskede effekter i fisk. Måles vha. EROD-metode.

D

DDT – pesticid, dichlordiphenyltriklorethan. Forbudt i Nordeuropa, bruges stadig mod malaria-myg i troperne. Persistent og med mulighed for lufttransport.

denitrifikation – at omdanne eller reducere nitrat (NO₃⁻) til luftformig kvælstof (N₂).

deposition – se atmosfærisk nedfald.

DEVANO-programmet (DEcentral VAnd og NaturOvervågning) - understøtter miljømålsloven og er en væsentlig aktivitet i forbindelse med opfyldelse af forpligtelserne i vandrammedirektivets operationelle overvågning og Natura 2000-direktivernes behov. I DEVANO indgår 5 delprogrammer for henholdsvis søer, vandløb, kystvande, grundvand og naturtyper.

diffuse kilder - større geografiske områder (åbent land og områder med spredt bebyggelse), hvorfra næringsalte eller miljøfarlige stoffer udvaskes til vandområder (se også punktkilder).

DIN - opløst uorganisk kvælstof, som indbefatter summen af nitrat, nitrit og ammonium, som kan optages af planter til primærproduktion.

dinoflagellater - eller furealger er mikroskopiske alger, tilhører den taksonomiske gruppe Dinophyceae. Furealger kan groft taget deles i nøgne og pansrede og er alle karakteriseret ved en længdefure og tværfure med hver sin flagel. Furealgerne kaldes også panserflagellater, dinoflagellater eller dinophyceer.

dioxin - oprindelig navnet på 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin; dækker nu en række lignende klorerede forbindelser, der typisk opstår i forbindelse med afbrænding af plasticholdige stoffer men også naturlige processer. Dioxinerne er måske de mest giftige og bioakkumulerbare forbindelser man kender, med grænseværdier i fødevarer i $\mu\text{g g}^{-1}$ fedt.

DIP - opløst uorganisk fosfor, dvs. fosfat, som kan optages af planter til primærproduktion.

DMU - Danmarks Miljøundersøgelser - hedder nu Aarhus Universitet.

DSi - opløst uorganisk silicium, dvs. silikat, som kiselalger bruger til opbygning af deres kiselskal.

DSP - er en forkortelse for diarréfremkaldende muslingeforgiftning. Forkortelsen er dannet ud fra den engelske betegnelse 'Diarrhetic Shellfish Poisoning'.

dyreplankton - eller planktondyr er små organismer i havvand og ferskvand, som kun har lille eller ingen svømmekraft. De føres derfor vilkårligt rundt med vandbevægelser. Dyreplankton kaldes også for zooplankton og består blandt andet af vandlopper og ciliater.

E

EAC - Ecotoxicological Assessment Criteria. Økotoxikologisk vurderingskriterium som bruges af OSPAR til vurdering af risikoen for graden af forurening af miljøfarlige stoffer ud fra deres koncentration i miljøet.

ekstern belastning - den (næringsstof)transport, der foregår til et givet geografisk område fx en fjord. Kan omfatte atmosfærisk nedfald, tilførsler fra vandløb og punktkilder, tilførsel fra tilgrænsende vandområder.

emission - udslip til luft.

EMEP - European Monitoring and Evaluation Programme er et internationalt forskningsbaseret overvågningsprogram, som arbejder under FN konventionen for at begrænse langtrækkende grænseoverskridende luftforurening (LRTAP).

epifyt - en plante, som vokser på en anden plante uden at tage næring fra denne. Epifytter er meget udbredt i regnskove og i næringsrige vandmiljøer. I vandmiljøet gror epifytter i form af alger på havgræsser og tang.

EQS - Ecological Quality Standard er et vandkvalitetskriterium fastsat i EU's vandrammedirektiv. Overholdelse af EQS-kriterier regnes som opnåelse af 'god økologisk tilstand', som er målsætningen for vandrammedirektivet. EQS gælder generelt for vandfasen, bortset fra 3 stoffer (se afsnit 11 for kviksølv og afsnit 12 for hexachlorbenzen og hexachlorobutadien), hvor EQS er fastsat for biota.

ERL - Effect Range Low. US-EPA udviklet kriterium der angiver den nedre grænse for koncentrationen af et miljøfarligt stof, hvor det ikke vurderes at udgøre en risiko for uønskede effekter på miljøet.

EROD - Ethoxyresorufin-O-deethylase er en biomarkør, der måler aktivitet af afgiftsenzymer i fisk. Et mål for CYP1A der induceres/øges ved eksponering til især PAH og dioxiner.

eutrofiering - at tilføre organisk stof eller næringsstoffer, dvs. at gøre et område næringsrigt. Det kan være en naturlig proces, men udtrykket bruges hyppigst om menneskeskabte tilførsler af organisk stof eller kvælstof og fosfor. Kommer af græsk og betyder 'velnæret'.

F

farvande - store havområder som Kattegat, Storebælt, Østersøen. Til tider bruges udtrykket dog om alle havområder, inklusive fjorde, bugter o.l., men oftest tænkes der kun på de dybere områder med stor geografisk udstrækning. Sidstnævnte betegnes nogle gange åbne farvande for at tydeliggøre, at der ikke er tale om fjorde og bugter.

farvandsområder - se farvande.

fauna - dyr.

fedt – indholdet af fedt (lipid) er typisk 1-2 % i muslinger og 20-30 % i fiskelever. Mange organiske forureninger opkoncentreres i fedtvæv, fx PCB og dioxin, og ofte angives indholdet af disse stoffer omregnet til fedtbasis.

flagellater – er mikroskopiske encellede organismer, som lever i vand. De kan bevæge sig vha. en eller flere svingtråde også kaldet flageller.

flageller – er en eller flere lange tynde trådlignende udvækster hos flagellater, sædceller og andre celler. Flagellerne laver rytmiske bølgeformede bevægelser, der gør cellen i stand til at bevæge sig. Hos fastsiddende former laver flagellen en vandstrøm, som bringer føde hen til cellen.

flux – transport af (nærings)stof mellem fx bunden og vandfasen.

fosfat (PO_4) – er et vigtigt fosforholdigt næringsstof og den kemiske form, planter optager deres fosfor i.

fosfor – grundstoffet fosfor, som kemisk betegnes P, indgår fx i fosfater (se dette).

fotosyntese – den proces, hvorved planter omdanner vand og kuldioxid til organisk materiale og ilt ved hjælp af solens energi.

fytoplankton – se planktonalger.

fødekæde – kæde af organismer, som beskriver, hvorledes føden føres gennem økosystemet fra primærproducenterne til de største byttedyr: Eksempel fra marint økosystem: alger → ciliater → vandlopper → fisk → sæler.

fødenet – beskrivelse af, hvem der spiser hvem i et økosystem. I sin simpleste form en fødekæde, men hyppigst et net, hvor flere grupper af organismer kan spise den samme føde.

G

græsning – når nogle organismer æder andre organismer. I plankton kaldes de organismer, der spiser, for græssere.

græsningstryk – fjernelse af planktonalgebiomasse pr. tidsenhed af græssere.

gårdbidrag – den del af landbrugets forurening, som skyldes udledninger, udslip eller tab fra gård eller stald (se også markbidrag).

H

habitatdirektivet – EU direktiv fra 1992 der forpligter EU's medlemsstater til at bevare naturtyper og arter, som er af betydning for EU.

HCB – pesticid, hexaklorbenzen, persistent og med mulighed for lufttransport.

HCBD – hexachlorbutadien.

HCH – pesticid, også kaldet lindan, hexaklorcyclohexan. Forbudt i Nordeuropa. Persistent og med mulighed for lufttransport.

hektar – er et flademål. En hektar er 10.000 kvadratmeter.

HELCOM – Helsinki Kommissionen, samarbejde om Østersøens havmiljø (www.helcom.fi).

hormonforstyrrelse – hormoner er stoffer i dyr og planter, der har en regulerende funktion. Ved hormonforstyrrelser ødelægges balancen mellem forskellige hormoner, og de processer de styrer, bringes ud af balance.

I

ICES – International Council for the Exploration of the Sea, fungerer som rådgiver for medlemsstaterne og indsamler data om havmiljøet.

iltoptag – når dyr og planter ånder, skal de optage ilt fra omgivelserne, enten fra luften eller vandet.

iltsvind – situationer, hvor iltkoncentrationen er meget lav. Hvornår koncentrationen af O_2 bliver kritisk, afhænger af vandområdets vandtemperatur og saltholdigheder. I Danmark defineres koncentrationer under 4 mg O_2 pr. liter som iltsvind og koncentrationer under 2 mg O_2 pr. liter som kraftigt iltsvind. Lave iltkoncentrationer opstår normalt kun i de bundnære vandlag. Det er derfor primært dyr og planter, der lever ved og i bunden, der er udsatte. Når koncentrationen falder under 4 mg O_2 pr. liter, søger de mest følsomme fisk væk, og bunddyrene bliver mindre aktive. Ved koncentrationer under 2 mg O_2 pr. liter flygter de fleste fisk. Hvis det kraftige iltsvind fortsætter i længere tid, begynder bunddyrene at dø. Det er dog meget forskelligt, hvor følsomme dyrene er.

immunforsvar – er en samlet betegnelse for de forskellige stoffer og specialiserede celler, en organisme har til at beskytte sig mod infektioner fra mikroorganismer.

imposex – synlige kønsændringer i havsnegle, hvor hunnen udvikler hanlige køns karakterer som penis og sædleder i tillæg til hunnens normale køns karakterer. Skyldes hormonforstyrrelser pga. miljøgiften TBT.

indre danske farvande – de farvandsområder der mod nord afgrænses af Skagerrak og mod syd af hhv. det sydlige Øresund (ved Drogen Tærsklen) og Arkona Bassinet (ved Darss Tærsklen).

intern omsætning/tilførsel/transport/belastning – den omsætning, tilførsel eller transport, der foregår inden for et givent vandlag eller et givent geografisk område, fx en fjord.

intersex – synlige kønsændringer i alm. strandsnegl, hvor hunnens normale køns karakterer (pallial ovidukt) omdannes til hanlige karakterer som prostatakirtel. Skyldes hormonforstyrrelser pga. miljøgiften TBT.

ISI – intersex-indeks er et mål for, hvor fremskredent udviklingen af intersex er i alm. strandsnegl.

K

kiselalger – er mikroskopiske alger, der tilhører den taksonomiske gruppe Bacillariophyceae. Kiselalgerne er specielle ved at have to skaller af kisel, der passer sammen som æske og låg. Kiselalger kaldes også diatomeer.

klorofyl – kemisk forbindelse, som er nødvendig for fotosyntesen og derfor findes i alle autotrofe organismer. Det er klorofylet, der gør lysets energi brugbart for de kemiske processer. Klorofyl er et grønt pigment.

klorofyl a – et plantepigment (kemisk forbindelse), som er nødvendig for fotosyntese.

kloroplast – organel hos fototrofe eukaryote organismer. Det indeholder fotosynteseapparatet med klorofyl og andre pigmenter.

konfidensinterval – angiver den statistiske usikkerhed ved en talstørrelse. Stor usikkerhed medfører brede intervaller, og lille usikkerhed medfører små intervaller.

korrelation – et mål mellem -1 og 1 for den lineære sammenhæng mellem to variable. Positive værdier angiver en positiv sammenhæng, og negative værdier angiver en negativ sammenhæng.

kvartil – en fjerdedel af et datasæt. For eksempel er den nedre kvartil den mindste observation, hvor alle de observationer der er mindre end den, udgør mindst en fjerdedel af datasættet.

kvælstof (N) – er et grundstof. Det kaldes også nitrogen. Omkring 80 % af atmosfæren består af kvælstof. Kvælstof er en væsentlig del af proteiner og er derfor livsnødvendig for alle levende organismer. Kvælstof indgår fx i nitrat og ammonium.

kvælstofdeposition – proces hvormed atmosfæriske kvælstofpartikler aflægges via nedbør eller vind i havet eller på land. Se også tørdeposition og våddeposition.

L

lagdeling – se skilleflade.

landovervågning – overvågning af næringsstofftab og dyrkningspraksis i repræsentative landbrugsdominerede oplandsområder.

lipid – se fedt.

LMP – forkortelse for Institut for Miljøvidenskab (Aarhus Universitet, DCE) landsdækkende måleprogram i byerne.

M

makroalger – store alger, tang.

markbidrag – den del af landbrugets forurening, som skyldes aktiviteter på markerne (se også gårdbidrag).

matrice – noget der analyseres i typisk sediment, blåmuslingekød, fiskemuskel eller lever. Matricen kan enten være 'frisk', dvs. inklusive det naturlige vandindhold (VV-basis) eller tørret ved fjernelse af vandet ved tørring i ovn eller frysetørrer (TS-basis), eller eventuelt baseret på indholdet af fedt for dyr eller organisk kulstof for sediment.

metabolisme – stofskifte. Summen af alle kemiske processer der foregår i en organisme.

mg – forkortelse for milligram, dvs. 1/1.000 g.

mg/kg = mg kg^{-1} – også kaldet ppm (parts per million) eller $\mu\text{g/g}$; angiver antallet af mg af en analysant i 1 kg af matricen (fx blåmuslinger eller sediment). kg kan erstattes af l for målinger i vand, mg l^{-1} .

μg – forkortelse for mikrogram, dvs. 1/1.000.000 g.

$\mu\text{g/kg}$ = $\mu\text{g kg}^{-1}$ – også kaldet ppb (parts per billion) eller ng/g ; angiver antallet af μg af en analysant i 1 kg af matricen (fx blåmuslinger eller sediment). kg kan erstattes af l for målinger i vand, $\mu\text{g l}^{-1}$.

ml – forkortelse for milliliter, dvs. 1/1.000 l.

μl – forkortelse for mikroliter, dvs. 1/1.000.000 l.

miljøfarlige stoffer – er stoffer, som er giftige for levende organismer. De fleste af stofferne er svære at nedbryde i miljøet. De miljøfarlige stoffer kaldes også miljøskadelige eller miljøfremmede stoffer.

miljøfremmede stoffer – anvendes om stoffer, der er industrielt produceret og som ikke forekommer naturligt i miljøet. Anvendes ofte som 'slang' for organiske forureninger, også PAH og dioxiner, der kan forekomme ved naturlige processer som fx skovbrænde. Inkluderer IKKE metaller. Se også miljøfarlige stoffer.

miljøkvalitetskrav – konkrete miljøkrav for tilstanden i et vandområde opstillet af myndigheder. Typiske kvalitetskrav er koncentrationsgrænser for miljøfremmede stoffer i sediment eller organismer.

mixotrof – betegnelse for ernæring både ved fotosyntese og optagelse af andre organismer.

monitering – samlebetegnelse, der dækker over tilsyns- og overvågningsaktiviteter, se også 'tilsyn' og 'overvågning'.

N

N – se kvælstof.

Nationalt program for overvågning af vandmiljøet – se NOVA-2003.

ng – forkortelse for nanogram, dvs. 1/1.000.000.000 g (10^{-9} g).

ng/kg = ng kg⁻¹ – også kaldet ppt (parts per trillion) eller pg/g; angiver antallet af ng af en analysant i 1 kg af matricen (fx blåmuslinger eller sediment). kg kan erstattes af l for målinger i vand, ng l⁻¹.

nitrat (NO₃) – er et vigtigt kvælstofholdigt næringsstof og den kemiske form, planter optager det meste af deres kvælstof i. Nitrat er saltet af salpetersyre.

nl – forkortelse for nanoliter, dvs. 1/1.000.000.000 l (10⁻⁹ l).

nonylphenol – vaskeaktivt stof, der kan holde det fangede snavs i vandfasen.

normalisator – en parameter, der kan anvendes til at forudsige det 'naturlige' indhold af analysanter.

normalisering – at omregne værdier mod en fysisk/kemisk størrelse, der kan anvendes som udtryk for et 'naturlig'/'normalt' niveau for udgangsstoffet.

NOVA-2003 – er en forkortelse af 'Det Nationale Program for Overvågning af Vandmiljøet 1998-2003'. NOVA-2003 afløser Vandmiljøplanens Overvågningsprogram, se dette.

NPO – en betegnelse for kvælstof (N), fosfor (P) og organisk stof (o).

næringssalte – se næringsstoffer.

næringsstoffer – er stoffer, som er nødvendige for, at levende organismer kan opretholde deres livsfunktioner. I miljøsammenhæng taler man oftest om planternes næringsstoffer. Her er kvælstof- og fosforforbindelser de vigtigste.

O

oligotrofiering – den modsatte proces af eutrofiering, dvs. at et miljø bliver mere næringsfattigt.

opportunistisk art – er en art, hvis levevis er tilpasset omskiftelige forhold med en hurtig vækst og en hurtig reproduktionsrespons.

OSPAR – Oslo-Paris Kommissionen, samarbejde om Nordsøens havmiljø (www.ospar.org).

organisk – organiske forbindelser er forbindelser, der indeholder grundstoffet kulstof. Undtaget er dog karbonater og kulilte. Tidligere blev betegnelsen organisk stof anvendt om stof, som stammede fra levende væsner.

organisme – et levende væsen; det kan være et dyr eller en plante.

overvågning – en betegnelse for en samlet proces, der indbefatter prøvetagning (monitering) og vurdering (assessment) med det formål at kunne vurdere fx miljøtilstanden.

oxidativ nedbrydning – kemisk opdeling af sammensatte stoffer til deres bestanddele ved hjælp af en elektronoverførsel fra fx ilt og frigørelse af energi.

P

PAH – polycykliske aromatiske hydrocarboner er tjærestoffer fra bl.a. forbrændingsprocesser og oliespild.

PCB – polychlorerede biphenyler, kemisk stofgruppe med klor-atomer, der bl.a. dannes ved afbrænding af plast i saltholdige miljøer. Anvendes desuden tidligere i kondensatorer. Sammensætning af de enkelte PCB-forbindelser kaldes congen-mønster og kan afspejle forureningskilden.

P – se fosfor.

pelagisk – 'pelag' betyder det åbne hav. Dyr, der lever i de fri vandmasser og ikke kommer ned på bunden, lever pelagisk.

pg – forkortelse for pikogram, dvs. 1/1.000.000.000.000 g (10⁻¹²g).

pigmenter – farvestoffer. I organismer, der udfører fotosyntese, er det pigmenter, der fanger lysets energi. Pigmenterne giver planktonalgerne deres farve. Det vigtigste pigment er klorofyl.

pl – forkortelse for pikoliter, dvs. 1/1.000.000.000.000 l (10⁻¹²l).

plankton – de organismer, der svæver rundt i vandet i havet, søer eller vandløb. Plankton inddeles i planteplankton eller dyreplankton.

planktonalger – eller algeplankton er mikroskopiske og ofte encellede organismer i havvand og ferskvand, som kun har lille eller ingen svømmekraft. De føres derfor vilkårligt rundt med vandets bevægelser. Planktonalger kaldes også for fytoplankton.

planteplankton – se planktonalger.

population – samling af organismer af samme art, som lever sammen.

primærproduktion – opbygning af organisk stof vha. fotosyntese.

punktkilder – en betegnelse, der her dækker over udledninger i et punkt. Kildetyperne omfatter renseanlæg, industrier, regnvandsoverløb, ferskvandsdambrug, udledninger fra saltvandsbaseret fiskeopdræt (havbrug og saltvandsdambrug).

R

reduktionsmålsætning – målsætningerne i Vandmiljøplan I og II med hensyn til reduktion af udledninger, udslip og tab af kvælstof og fosfor betegnes 'reduktionsmålsætninger'.

repræsentative områder – NOVA 2003-terminologi, som dækker over 34 kystområder jævnt fordelt ud over de forskellige danske farvandsområder. Overvågningsaktiviteterne fokuserer først og fremmest på eutrofiering.

respiration – ånding.

resuspension – havbundens opblanding i vandet som følge af, at havbunden bliver rodet rundt af bølgepåvirkning eller en stærk vandstrøm hen over bunden.

S

salinitet – se saltholdighed.

saltholdighed – mængden af salte i vandet. Ofte angivet som gram salt pr. kilo vand = saltpromille (‰). I havvand er natriumklorid det salt, der findes i størst mængde og derfor også det salt, som stort set bestemmer saltholdigheden. Natriumklorid er også det vigtigste salt i køkkensalt.

sediment – havbundsmateriale dannet ved sedimentation, dvs. mere eller mindre permanent aflejring af materiale, som er faldet ned på havbunden.

SFT – Statens forurensningstilsyn (Norge, www.klif.no), navn ændret i 2009 til Klima og forurensningsdirektoratet. Står bag udviklingen af klassifikationsværktøj anvendt til afsnit om metaller.

signifikans – er et udtryk for graden af væsentlighed i en sammenhæng. Signifikans for en sammenhæng udtrykkes ved, at sandsynligheden for ingen sammenhæng er meget lille (oftest < 5 %).

sigtdybde – mål for vandets klarhed.

skilleflade – eller springlag – er en vandret grænse mellem to vandmasser med forskellig vægtfylde. Skillefladen dannes typisk på grund af forskelle i temperatur eller saltholdighed.

SMHI – Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut.

springlag – se skilleflade.

standard error (eller spredning på dansk) – et mål for variationen på en stokastisk variabel, som estimeres ved standardafvigelsen. Spredning og standardafvigelse forveksles ofte i den videnskabelige litteratur. Betegnelsen spredning forudsætter implicit en modelantagelse for data.

stofskifte – de kemiske og fysiske processer i et levende væsen, som skaffer energi til omsætning og vedligeholdelse af celler og væv.

T

TBT – tributyltin er et biocid, der er blevet tilsat skibsmalinger for at forhindre begroning på skibe.

tilsyn – den overvågning, som kommuner og staten udfører i medfør af Miljøbeskyttelsesloven eller Planloven.

TN – total kvælstof, som indbefatter DIN og organisk bundet kvælstof.

total oplukning – en oplukningsmetode, der inkluderer flussyre for at destruere silikater inden metalanalyser.

TP – total fosfor, der indbefatter DIP og organisk bundet fosfor.

TS – tørstofbasis; angiver også indholdet af tørstof; fx 15 % TS for muslingekød viser, at der er 85 % vand og 15 % tilbage, når vandet er fjernet.

tungmetaller – er alle de metaller, som er tungere end jern, dvs. at de har en større vægtfylde. Tungmetaller er fx kobber (Cu), bly (Pb), cadmium (Cd) eller kviksølv (Hg). Bruges ofte som 'slang' for giftige metaller, dvs. letmetallet zink (Zn) og metalloider (halvmetaller) som arsen (As).

tørdeposition – nedfald af stof fra atmosfæren i tørvejr (se også våddeposition).

U

uorganisk – mineralske stoffer. Se organisk.

US-EPA – United States Environmental Protection Agency – den amerikanske miljøstyrelse. Står bag udviklingen af ERL-vurderingskriterier anvendt til sedimenter i afsnit 11.

V

vandlopper – er små krebsdyr, typisk 0,5–4 mm lange, der lever i de frie vandmasser, på bunden eller som parasitter. Deres navn skyldes, at de ofte svømmer i små hop ved at bevæge deres lange antenner. Vandlopper kaldes også copepoder.

Vandmiljøplan I – plan vedtaget af Folketinget i 1987 med formålet at reducere udledningerne af kvælstof og fosfor med hhv. 50 og 80 %.

Vandmiljøplan II – opfølgning på Vandmiljøplan I med fokus på yderligere virkemidler til begrænsning af kvælstofudvaskning fra dyrkede arealer.

Vandmiljøplan III – opfølgning på Vandmiljøplan I og II med fokus på fosfor fra dyrkede arealer. Landbrugets fosforoverskud skal halveres og kvælstofudvaskningen reduceres med yderligere 13 % frem til 2015.

Vandmiljøplanens overvågningsprogram – ved Vandmiljøplan I's vedtagelse i 1987 blev der etableret et landsdækkende overvågningsprogram. Programmet blev i 1998 afløst af det nationale program for overvågning af vandmiljøet 1998-2003 (se under NOVA-2003).

VDSI – Vas deferens sekvens indeks er et mål for, hvor fremskredent udviklingen af imposex er i konksnegle. Vas deferens betyder sædleder.

VV – vådvægtsbasis.

våddeposition – nedfald af stof fra atmosfæren i regnvejr (se også tørdeposition).

Z

zooplankton – se dyreplankton.

Å

ålegræs (*Zostera marina*) – en blomsterplante, som lever under vandet langs hovedparten af de danske kyster.

14 Referencer

- Aarefjord, H., Bjørge, A., Kinze, C.C. & Lindstedt, I. 1995: Diet of the harbour porpoise *Phocoena phocoena* in Scandinavian waters. Report of the International Whaling Commission, Special Issue Series 16: 211-222.
- Allearter.dk, Skipper, L. (red.) 2016: Projekt Allearter. Oversigt over Danmarks dyr, planter, svampe m.v. DanBIF - Danish Biodiversity Information Facility. <http://allearter.dk/>
- Andersen, G.A., Steen, H., Christie, H., Fredriksen, S. & Moy E.F. 2011: Seasonal patterns of sporophyte growth, fertility, fouling and mortality of *Saccharina latissima* in Skagerrak, Norway: Implications for forest recovery. - Journal of Marine Biology. doi:10.1155/2011/690375.
- Anderson, M.J., Gorley, R.N. & Clarke, K.R. 2008: PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to software and statistical methods. PRIMER-E, Plymouth, UK.
- Araújo, R.M., Assis, J., Aguillar, R. et al. 2016: Status, trends and drivers of kelp forests in Europe: an expert assessment. - Biodiversity and Conservation 25 (7): 1319-1348. doi:10.1007/s10531-016-1141-7.
- Barbier, E.B., Hacker, S.D., Kennedy, C., Koch, E.W., Stier, A.C. & Silliman, B.R. 2011: The value of estuarine and coastal ecosystem services. - Ecological Monographs 81: 169-193.
- Blossom, H.E., Daugbjerg, N. & Hansen, P.J. 2012: Toxic mucus traps: A novel mechanism that mediates prey uptake in the mixotrophic dinoflagellate *Alexandrium pseudogonyaulax*. - Harmful Algae 17: 40-53.
- Bodewes, R., Bestebroer, T.M., van der Vries, E., Verhagen, J.H., Herfst, S., Koopmans, M.P., Fouchier, R.A.M., Pfankuche, V. M., Wohlsein, P., Siebert, U., Baumgärtner, W. & Osterhaus, A.D.M.E. 2015: Avian influenza A (H10N7) virus-associated mass deaths among harbor seals. - Emerging Infectious Diseases 21: 4. <http://dx.doi.org/10.3201/eid2104.141675>.
- Boutrup, S., Holm, A.G., Bjerring, R., Johansson, L.S., Strand, J., Thorling, L., Brüsck, W., Ernstsen, V., Ellermann, T. & Bossi, R. 2015: Miljøfremmede stoffer og metaller i vandmiljøet. NOVANA. Tilstand og udvikling 2004-2012. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 242 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 142.
- Buckland, S.T., Anderson, D.R., Burnham, K.P., Laake, J.L., Borchers, D.L. & Thomas, L. 2001: Introduction to distance sampling. Estimating abundance of biological populations. Oxford University Press, New York.
- Cappelen, J. (red.) 2016: Danmarks klima 2015. DMI rapport 16-01. Danmarks Meteorologiske Institut. http://www.dmi.dk/fileadmin/user_upload/Rapporter/TR/2016/DMIRp16-01.pdf

Carstensen, J., Krause-Jensen, D., Dahl, K. & Henriksen, P. 2008: Macroalgae and phytoplankton as indicators of ecological status of Danish coastal waters. National Environmental Research Institute, University of Aarhus. 90 pp. - NERI Technical Report No. 683.

Carstensen, J., Andersen, J.H., Gustafsson, B.G. & Conley, D.J. 2014a: Deoxygenation of the Baltic Sea during the last century. - *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111: 5628-5633.

Carstensen, J., Krause-Jensen, D., Josefson, A. 2014b: Development and testing of tools for intercalibration of phytoplankton, macrovegetation and benthic fauna in Danish coastal areas. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 85 pp. - Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 93.

Costanza, R. m.fl. 1997: The value of the world's ecosystem services and natural capital. - *Nature* 387: 253-260.

Dahl, K. 2005: Effekter af fiskeri på stenrevs algevegetation. Et pilotprojekt på Store Middelgrund i Kattegat. Danmarks Miljøundersøgelser. 16 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 526.

Dahl, K. & Carstensen, J. 2008: Tools to assess conservation status on open water reefs in Nature-2000 areas. National Environmental Research Institute, University of Aarhus. 25 pp. - NERI Technical Report No. 663.

Dahl, K., Göke, C., Lundsteen, S., Carstensen, J., Al-Hamdani, Z., Leth, J.O., Havesteen, C.W. & von Qualen, S. 2011: Seabed and habitat mapping in the Hatter Barn area - a high risk area for shipping in the Danish Straits. BaltSeaPlan - www.baltseaplan.eu. 54 pp. - BaltSeaPlan Report, no. 27.
<http://www.baltseaplan.eu/index.php/Reports-and-Publications;809/1#seabed>.

Dahllöf, I., Strand, J., Gustavson, K. & Bjerregaard, P. 2011: Miljøfarlige stoffer og ålekvabbe. Samlet analyse. Rapport fra Naturstyrelsen. 40 s.

Dietz, R., Teilmann, J., Damsgaard Henriksen, O. & Laidre, K. 2003: Movements of seals from Rødsand seal sanctuary monitored by satellite telemetry. Relative importance of the Nysted Offshore Wind Farm area to the seals. National Environmental Research Institute. - NERI Technical Report 429. 44 pp.

Dietz, R., Galatius, A., Mikkelsen, L., Nabe-Nielsen, J., Rigét, F.F., Schack, H., Skov, H., Sveegaard, S., Teilmann, J. & Thomsen, F. 2015: Marine mammals – Investigations and preparation of environmental impact assessment for Kriegers Flak. Report commissioned by EnergiNet.dk. 184 pp.

Doney, S.C. 2010: The growing human footprint on coastal and open ocean biogeochemistry. - *Science* 328: 1512-1516.

Duarte, C. M., Hendriks, I. E., Moore, T.S., Olsen, Y.S., Steckbauer, A., Ramajo, L., Carstensen, J., Trotter, J.A. & McCulloch, M. 2013: Is Ocean Acidification an Open-Ocean Syndrome? Understanding the drivers and impacts of pH variability in the coastal ocean. - *Estuaries and Coasts* 36: 221-236.

Ellermann m.fl. 2016: Atmosfærisk deposition 2015. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 204.

Erichsen, A.C., Kaas, H., Timmermann, K., Markager, S., Christensen, J. & Murray, C. 2014: Modeller for danske fjorde og kystnære havområder - Del 1, Metode til bestemmelse af målbelastning. DHI-Aarhus Universitet.

EU 2005: EQS dossier on Priority Substance No. 30 Tributyltin compounds (TBT-ion): Substance Data Sheet for Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive. Final version Brussels, 15 January 2005.

EU 2006: KOMMISSIONENS FORORDNING (EF) Nr. 1881/2006 af 19. december 2006 om fastsættelse af grænseværdier for bestemte forurenende stoffer i fødevarer, L 364 Den Europæiske Unions Tidende, 20.12.2006.

EU 2011: KOMMISSIONENS FORORDNING (EU) Nr. 1259/2011 af 2. december 2011 om ændring af forordning (EF) nr. 1881/2006 for så vidt angår grænseværdier for dioxiner, dioxinlignende PCB'er og ikke-dioxinlignende PCB'er i fødevarer. L 320/18 Den Europæiske Unions Tidende 3.12.2011.

EU 2013: EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS DIREKTIV 2013/39/EU af 12. august 2013 om ændring af direktiv 2000/60/EF og 2008/105/EF for så vidt angår prioriterede stoffer inden for vandpolitikken. Den Europæiske Unions Tidende L 226/1, 23.8.2013.

EU 2014: COMMON IMPLEMENTATION STRATEGY FOR THE WATER FRAMEWORK DIRECTIVE (2000/60/EC). Guidance Document No. 32 on Biota Monitoring (the Implementation of EQS_{biota}) under the Water Framework Directive. - Technical Report - 2014 - 083.

Faxneld, S., Danielsson, S. & Nyberg, E. 2014: Distribution of PFAS in liver and muscle of herring, perch, cod, eelpout, arctic char, and pike from limnic and marine environments in Sweden. - Report no. 9. Swedish Museum of Natural History, Department of Environmental Research and Monitoring. 33 pp. <http://nrm.diva-portal.org/smash/get/diva2:767385/FULLTEXT01.pdf>.

Fietz, K., Galatius, A., Frie, A.K., Teilmann, J., Dietz, R., Jensen, L.F., Graves, J.A., Hall, A., McConnell, B., Gilbert, M.T.P. & Olsen, M.T (*i trykken*): Fall and rise of grey seal (*Halichoerus grypus*) populations in northern Europe - genetic and demographic consequences of local extinctions and re-colonizations.

Fossing, H. & Hansen, J.W. 2015: Vandkemi. - Teknisk anvisning nr. M02 fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet. 19 s.

Fossing, H., Hansen, J.W., Jacobsen, H.H., Markager, S. & Møller, E.F. 2015: Indsamling af vand- og planktonprøver i felten. - Teknisk anvisning nr. M01 fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet. 17 s.

Foverskov, S., Strand, J., Jacobsen, J.A., Riemann, B., Pritzl, G., Nielsen, P.Ø. & Aagaard, A. 1999: Bundmaling til skibe - et miljøproblem. Danmarks Miljøundersøgelser. - TEMA-rapport fra DMU 30/1999. 48 s.

Gilles, A., Scheidat, M. & Siebert, U. 2009: Seasonal distribution of harbour porpoises and possible interference of offshore wind farms in the German North Sea. - *Marine Ecology Progress Series* 383: 295-307.

Hammond, P.S., Macleod, K., Berggren, P., Borchers, D.L., Burt, L., Cañadas, A., Desportes, G., Donovan, G.P., Gilles, A., Gillespie, D., Gordon, J., Hiby, L., Kuklik, I., Leaper, R., Lehnert, K., Leopold, M., Lovell, P., Øien, N., Paxton, C.G.M., Ridoux, V., Rogan, E., Samarra, F., Scheidat, M., Sequeira, M., Siebert, U., Skov, H., Swift, R., Tasker, M.L., Teilmann, J., Van Canneyt, O. & Vázquez, J.A. 2013: Cetacean abundance and distribution in European Atlantic shelf waters to inform conservation and management. - *Biological Conservation* 164: 107-122.

Hansen, B.W., Bjørnsen, P.K. & Hansen, P.J. 1994: The size ratio between planktonic predators and their prey. - *Limnology and Oceanography* 39(2): 395-403.

Hansen, J.L.S. & Josefson, A. 2014: Blødbundsfauna. - Teknisk anvisning nr. M19 fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet. 15 s.

Hansen, J.W. (red.) 2015a: Marine områder 2013. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 142 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 123.

Hansen, J.W. (red.) 2015b: Marine områder 2014. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 142 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 167.

Hansen, P.J., Bjørnsen, P.K. & Hansen, B.W. 1997: Zooplankton grazing and growth: scaling within the 2-2000 μm body range. - *Limnology and Oceanography* 42(4): 687-704.

Härkönen, T., Harding, K.C. & Lunneryd S.G. 1999: Age- and Sex-Specific Behaviour in Harbour Seals *Phoca vitulina* Leads to Biased Estimates of Vital Population Parameters. - *Journal of Applied Ecology* 36 (5): 825-841.

Härkönen, T., Harding, K.C. & Heide-Jørgensen, M.-P. 2002: Rates of increase in age-structured populations: A lesson from the European harbour seals. - *Canadian Journal of Zoology* 80(9): 1498-1510.

Härkönen, T., Dietz, R., Reijnders, P., Teilmann, J., Harding, K., Hall, A., Brasseur, S., Siebert, U., Goodman, S.J., Jepson, P.D., Rasmussen, T.D. & Thompson, P. 2006: A review of the 1988 and 2002 phocine distemper virus epidemics in European harbour seals. - *Diseases of Aquatic Organisms* 68: 115-130.

Härkönen, T., Harding, K., Rasmussen, T.D., Teilmann, J. & Dietz, R. 2007a: Age- and Sex-specific Mortality Patterns in an Emerging Wildlife Epidemic: the Phocine Distemper in European Harbour Seals. - *PLoS ONE* 9: 1-4.

Härkönen, T., Brasseur, S., Teilmann, J., Vincent, C., Dietz, R., Abt, K., Reijnders, P., Thompson, P., Harding, K. & Hall, A. 2007b: Status of grey seals along mainland Europe from the Southwestern Baltic to France. - *NAMMCO Scientific Publications* 6: 57-68.

Härkönen, T., Bäcklin, B.M., Barrett, T., Bergman, A., Corteyn, M., Dietz, R., Harding, K.C., Malmsten, J., Roos, A. & Teilmann, J. 2008: Mass mortality in harbour seals and harbour porpoises caused by an unknown pathogen. - Veterinary Record 162: 155-156.

Havs- och Vattenmyndigheten 2015: Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter om ändring i Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter (HVMFS 2013:19) om klassificering och miljö kvalitetsnormer avseende ytvatten. HVMFS 2015:4. <https://www.havochvatten.se/download/18.39e6d68414ca353051f2d15d/1429085661024/HVMFS+2015-4-ev.pdf>.

HELCOM 2016: Draft guidelines for biological effect monitoring – imposex and intersex. Presented by Sweden at HELCOM STATE & CONSERVATION meeting 4-2016, document 2MA-5.

Høgslund, S., Dahl, K., Krause-Jensen, D., Lundsteen, S., Rasmussen, M.B. & Windelin, A. 2014: Makroalger på kystnær hårbund. Teknisk anvisning nr. M12 fra DCE -National Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet. 27 s.

Jakobsen, H.H. & Fossing, H. 2015: Fytoplankton. Teknisk anvisning nr. M09 fra DCE - National Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet. 29 s.

Jakobsen, H.H. & Hansen, P.J. 1997: Prey size selection, grazing and growth response of the small heterotrophic dinoflagellate *Gymnodinium* sp. and the ciliate *Balanion comatum* - a comparative study. - Marine Ecology Progress Series 158: 75-86.

Jakobsen, H.H. & Markager, S. 2016: Carbon-to-chlorophyll ratio for phytoplankton in temperate coastal waters: Seasonal patterns and relationship to nutrients. - Limnology and Oceanography (*in press*). DOI: 10.1002/lno.10338.

Jensen, L.F., Galatius, A. & Teilmann, J. 2015: First record of a new born grey seal pup (*Halichoerus grypus*) in the Danish Wadden Sea since the 16th century. - Marine Biodiversity Records 8: e131.

Jepsen, P.U. 2005: Forvaltningsplan for spættet sæl (*Phoca vitulina*) og gråsæl (*Halichoerus grypus*) i Danmark. Miljøministeriet, Skov- og Naturstyrelsen.

Josefson, A.B. & Rasmussen, B. 2000: Nutrient retention by benthic macrofaunal biomass of Danish estuaries: importance of nutrient load and residence time. - Estuarine, Coastal and Shelf Science 50: 205-216.

Josefson, A.B., Hansen, J.L.S. & Lundsteen, S. 2015: Bundfauna. - I: Marine områder 2013: NOVANA. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. s. 77-86. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 123.

Kaas, H. & Markager S. (red.) 1998: Teknisk anvisning for marin overvågning. Danmarks miljøundersøgelser.

Kaas, H., Moestrup, Ø., Larsen, J. & Henriksen, P. 1999: Giftige alger og algeopblomstringer. Danmarks Miljøundersøgelser. - TEMA-rapport fra DMU 27/1999. 64 s.

Karl, H., Bladt, A., Rottler, H., Ludwigs, R. & Mathar, W. 2010: Temporal trends of PCDD, PCDF and PCB levels in muscle meat of herring from different fishing grounds of the Baltic Sea and actual data of different fish species from the Western Baltic Sea. - *Chemosphere* 78: 106-112.

Krause-Jensen, D., Greve, T.M. & Nielsen, K. 2005: Eelgrass as a bioindicator under the European Water Framework Directive. - *Water Resources Management* 19: 63-75.

Krog, J.S., Hansen, M.S., Holm, E., Hjulsager, C.K., Chriél, M., Pedersen, K., Andresen, L.O., Abildstrøm, M., Jensen, T.H., Larsen, L.E. 2015: Influenza A (H10N7) virus in dead harbor seals, Denmark. - *Emerging Infectious Diseases* 21: 4. <http://dx.doi.org/10.3201/eid2104.141484>

Larsen, Martin Mørk 2013a: Miljøfarlige stoffer i fisk. Teknisk anvisning nr. M25 fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet. 15 s.

Larsen, Martin Mørk 2013b: Miljøfarlige stoffer i muslinger. Teknisk anvisning nr. M22 fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet. 12 s.

Larsen, Martin Mørk 2013c: Miljøfarlige stoffer i sediment. Teknisk anvisning nr. M24 fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet. 12 s.

Lassus, P., Bardouil, M., Truquet, I., Le Baut, C. & Pierre, M.J. 1985: *Dinophysis acuminata* distribution and toxicity along the southern Brittany coast (France): Correlation with hydrological parameters. - In Anderson, D.M., White, A.W. & Baden, G.D. (Eds.); *Toxic Dinoflagellates*. Elsevier, New York, pp. 159-164.

Little, C. & Kitching, J.A. 1996: *The biology of rocky shores*. Oxford University Press Inc., New York, 240 pp.

Loring, D.H. 1990: Lithium - A new approach for the granulometric normalization of trace metal data. - *Marine Chemistry* 29: 155-168.

Lundsteen, S. & Dahl, K. 2016: Fauna på kystnær hårbund. Teknisk anvisning nr. M17 fra DCE - National Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet. 23 s.

Lyngsgaard, M.M., Markager, S. & Richardson, K. 2014: Changes in the vertical distribution of primary production in response to land-based nitrogen loading. - *Limnology and Oceanography* 59 (5): 1679-1690.

Markager, S. & Fossing, F. 2015: Primærproduktion. Teknisk anvisning nr. M08 fra DCE - National Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet. 18 s.

Miljø- og Fødevareministeriet 2016: BEK nr 439 af 19/05/2016. Bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand.

Miljøstyrelsen 1984: NPO-redegørelsen.

- Miljøstyrelsen 1989: Vandmiljøplanens overvågningsprogram. Miljøprojekt nr. 115, 64 s.
- Miljøstyrelsen 1993: Vandmiljøplanens overvågningsprogram 1993-1997. Redegørelse fra Miljøstyrelsen nr. 2/1993, 168 s.
- Miljøstyrelsen 2000: NOVA. Nationalt program for overvågning af vandmiljøet 1998-2003. - Redegørelse fra Miljøstyrelsen nr. 1/2000, 397 s.
- Nielsen, T.G. & Hansen, P.J. 1999: Dyreplankton i danske farvande. Danmarks Miljøundersøgelser. - TEMA-rapport fra DMU 28/1999. 64 s.
- Olesen, M., Johansen, S. B. & Göransson, P. 2011: Øresunds unikke dyreliv er truet. - *Aktuel Naturvidenskab* 2: 32-36.
- Oliver, P.G., Holmes, A.M., Killeen, I.J. & Turner, J.A. 2016: Marine Bivalve Shells of the British Isles (Mollusca: Bivalvia). Amgueddfa Cymru - National Museum Wales. Available online.
<http://naturalhistory.museumwales.ac.uk/britishbivalves/home.php>
- Olsen, M.T., Andersen, S.M., Teilmann, J., Dietz, R., Edrén, S.M.C., Linnet, A. & Harkonen, T. 2010: Status of the harbour seal (*Phoca vitulina*) in southern Scandinavia. - NAMMCO Scientific Publications 8: 77-94.
- Olsen, M.T., Andersen, L.W., Dietz, R., Teilmann, J., Härkönen, T. & Siegismund, H.R. 2014: Integrating genetic data and population viability analyses for the identification of harbor seal (*Phoca vitulina*) populations and management units. - *Molecular Ecology* 23: 815-831.
- OSPAR 2005: 2005 Assessment of data collected under the Co-ordinated Environmental Monitoring Programme (CEMP). OSPAR Commission. - Assessment and Monitoring Series, Publication Number 2005/235, 115 pp.
<http://www.ospar.org/documents?v=7017>.
- OSPAR 2008: 2007/2008 CEMP Assessment: Trends and concentrations of selected hazardous substances in sediments and trends in TBT-specific biological effects. - Assessment and Monitoring Series, OSPAR Commission, 36 pp.
- OSPAR 2009: CEMP assessment report: 2008/2009. Assessment of trends and concentrations of selected hazardous substances in sediments and biota. Monitoring and Assessment Series, Publication Number 390/2009, 78 pp.
http://qsr2010.ospar.org/media/assessments/p00390_2009_CEMP_assessment_report.pdf.
- OSPAR 2016: Mercury assessment in the marine environment. Assessment criteria comparison (EAC/EQS) for mercury. - Hazardous Substances and Eutrophication series no. 679 (tilgængelig på www.ospar.org).
- Parsons, M.L., Dortch, Q. & Turner, R.E. 2002: Sedimentological evidence of an increase in *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyceae) abundance in response to coastal eutrophication. - *Limnology and Oceanography* 47: 551-558.
- Pearson, T.H. & Rosenberg, R. 1978: Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. - *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 16: 229-311.

- Queirós, A.M., Strong, J.A., Mazik, K., Carstensen, J., Bruun, J., Somerfield, P.J., Bruhn, A., Ciavatta, S., Flo, E., Bizsel, N., Özaydinli, M., Chušev, R., Muxika, I., Nygård, H., Papadopoulou, N., Pantazi, M. & Krause-Jensen, D. 2016: An objective framework to test the quality of candidate indicators of good environmental Status. – *Frontiers in Marine Science* 3: 73. doi: 10.3389/fmars.2016.00073.
- Riemann, B., Carstensen, J., Dahl, K., Fossing, H., Hansen, J.W., Jakobsen, H.H., Josefson, A.B., Krause-Jensen, D., Markager, S., Stæhr, P.A., Timmermann, K., Windolf J. & Andersen, J.H. 2016: Recovery of Danish coastal ecosystems after reductions in nutrient loading: A holistic ecosystem approach. – *Estuaries and Coast* 39: 82-97. doi 10.1007/s12237-015-9980-0.
- Ries, E.H., Hiby, L.R. & Reijnders, P. J. H. 1998: Maximum likelihood population size estimation of harbour seals in the Dutch Wadden Sea based on a mark-recapture experiment. – *Journal of Applied Ecology* 35: 332-339.
- Scheidat, M., Gilles, A., Kock, K.-H. & Siebert, U. 2008: Harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) abundance in the south-western Baltic Sea. – *Endangered Species Research* 5: 215-223.
- Strand, J., Larsen, M.M., Næs, K., Cato, I. & Dahllöf, I. 2006: Tributyltin (TBT): Forekomst og effekter i Skagerrak. Uddevalla, Sweden, Rapport fra Forum Skagerrak II, 39 s.
- Strand, J., Bossi, R., Sortkjær, O., Landkildehus, F. & Larsen, M.M. 2007: PFAS og organotinforbindelser i punktkilder og det akvatiske miljø. NO-VANA screeningsundersøgelse. Danmarks Miljøundersøgelser. 49 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 608.
- Strand, J. 2013a: Imposex og intersex i havsnegle. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. Teknisk anvisning fra Det Marine Fagdatacenter, DCE, nr. M27, ver. 1.
- Strand, J. 2013b: Biologisk effektmonitoring i fisk. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. Teknisk anvisning fra Det Marine Fagdatacenter, DCE, nr. M26 ver. 1.
- Strand, J. & Dahllöf, I. 2013: Biologisk effektmonitoring i muslinger. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. Teknisk anvisning fra Det Marine Fagdatacenter, DCE, nr. M28, ver. 2.
- Svendsen, L.M., Bijl, L. van der, Boutrup, S. & Norup, B. (red.) 2004: NO-VANA. Det nationale program for overvågning af vandmiljøet og naturen. Programbeskrivelse - del 2. Danmarks Miljøundersøgelser. 128 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 508.
- Tegner, M.J. & Dayton, P.K. 2000: Ecosystem effects of fishing in kelp forest communities. – *ICES Journal of Marine Science* 57 (3): 579-589.
- Teilmann, J., Riget, F. & Härkönen, T. 2010: Optimising survey design for Scandinavian harbour seals: Population trend as an ecological quality element. – *ICES Journal of Marine Science* 67: 952-958.

Thodsen, H. m.fl. 2016: Vandløb 2015. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 206.

Timmermann, K., Dinesen, G.E., Markager, S., Ravn-Johnsen, L., Bassompierre, M., Roth, E. & Støttrup, J.G. 2014: Development and use of a bio-economic model for management of mussel fisheries under different nutrient regimes in the temperate estuary Limfjorden, Denmark. - Ecology and Society 19 (1): 14.

Timmermann, K., Christensen, J., Murray, C. & Markager, S. 2015: Modeller for danske fjorde og kystnære havområder – del 3. Statistiske modeller og metoder til bestemmelse af indsatsbehov. - Notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 26 s.

Trainer, V.L., Bates, S.S., Lundholm, N., Thessen, A.E., Cochlan, W.P., Adams, N.G. & Trick, C.G. 2012: *Pseudo-nitzschia* physiological ecology, phylogeny, toxicity, monitoring and impacts on ecosystem health. - Harmful Algae 14: 271-300.

Van den Berg, M., Birnbaum, L.S., Denison, M., De Vito, M., Farland, W., Feeley, M., Fiedler, H., Hakansson, H., Hanberg, A., Haws, L., Rose, M., Safe, S., Schrenk, D., Tohyama, C., Tritscher, A., Tuomisto, J., Tysklind, M., Walker, N. & Peterson, R.E. 2006: The 2005 World Health Organization reevaluation of human and Mammalian toxic equivalency factors for dioxins and dioxin-like compounds. - Toxicological Sciences 93(2): 223-41.

Vang, T. & Hansen, J.W. 2015. Ilt i vandsøjlen. Teknisk anvisning nr. M04 fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet. 12 s.

Vinther, M. & Larsen, F. 2004: Updated estimates of harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) bycatch in the Danish North Sea bottom-set gillnet fishery. - Journal of Cetacean Research and Management 6: 19-24.

Waycott, M., Duarte, C.M., Cattuthers, T.J.B., Orth, R.J., Dennison, W.C., Olayarnik, S., Calladine, A., Fourqurean, J.W., Heck, K.L., Hughes, A.R., Kenrick, G.A., Kenworthy, W.J., Short, F.T. & Williams, S. 2009: Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. - PNAS 106 (30): 12377-12381.

WHO 2005: The 2005 World Health Organization Reevaluation of Human and Mammalian Toxic Equivalency Factors for Dioxins and Dioxin-Like Compounds. - Toxicological Sciences 2006, 93(2): 223-241.

Wiberg-Larsen, P., Windolf, J., Bøgestrand, J., Larsen, S.E., Tornbjerg, H., Ovesen, N.B., Nielsen, A., Kronvang, B. & Kjeldgaard, A. 2015: Vandløb 2014. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 54 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 165.

Zbawicka, M., Sanko, T., Strand, J. & Wenne, R. 2014: New SNP markers reveal largely concordant clinal variation across the hybrid zone between *Mytilus* spp. in the Baltic Sea. - Aquatic Biology 21: 25-36.

Ærtebjerg, G. & Andersen, J.H. (red.), Bendtsen, J., Carstensen, J., Christiansen, T., Dahl, K., Dahllöf, I., Ellermann, T., Fossing, H., Greve, T.M., Gustafsson, K., Hansen, J.L.S., Henriksen, P., Josefson, A.B., Krause-Jensen, D., Larsen, M.M, Markager, S., Nielsen, T.G., Ovesen, N.B., Petersen, J.K., Riemann, B., Risgaard-Petersen, N., Ambelas Skjøth, C., Stedmon, C., Strand, J., Nielsen, S.P., Jensen, J.B & Madsen, H.B. 2004: Marine områder 2003 - Miljøtilstand og udvikling. 97 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 513.

Bilag 1 - Beskrivelse af anvendte indeks og korrektioner for klimatiske variationer

Jacob Carstensen

Næringsstofkoncentrationer, klorofyl og sigtdybde

Tresidet variansanalyse for stations-, måneds- og årsvariation

Koncentrationer af næringsstoffer blev analyseret ved hjælp af en tresidet variansanalyse. Alle koncentrationer blev før analyserne logaritmisk transformeret af følgende årsager:

- Stations-, måneds- og årsvariation (tre faktorer) forventes at have en multiplikativ effekt på koncentrationerne af næringsstoffer og klorofyl, hvilket betyder, at sæsonvariationen skalerer med år til år variationen og stationer. Dette har erfaringsmæssigt vist sig at være en bedre beskrivelse end additive effekter. Ved logaritmisk transformation kan multiplikative effekter analyseres med en additiv model.
- Store koncentrationer har større variationer end små koncentrationer. Ved logaritmisk transformering opnås varianshomogenitet.
- Residualerne fra en variansanalyse uden transformation vil have en højreskæv fordeling. Ved logaritmisk transformation bliver residualerne fra variansanalysen tilnærmelsesvis normalfordelte.

De logaritmisk transformerede koncentrationer deles op i variationer, som kan tilskrives stationsafhængighed (STATION), sæsonvariation (MÅNED) og år til år variation (ÅR). Der er kun medtaget hovedeffekter i modellen, dvs. ingen krydseffekter.

$$\log(C) = \text{STATION}_i + \text{ÅR}_j + \text{MÅNED}_k + e_{ijk} \quad \text{hvor } e_{ijk} \in N(0, \sigma^2)$$

Hovedeffekterne, som estimeres ved hjælp af modellen, har følgende fortolkning:

- STATION_i er middelniveauet for de enkelte stationer, når der er taget højde for år til år variationen og sæsonvariationen.
- ÅR_j er middelniveauet for de enkelte år, som indgår i analysen, når der er taget højde for den stationsafhængige variation og sæsonvariationen.
- MÅNED_k er middelniveauet for årets 12 måneder, når der er taget højde for den stationsafhængige variation og år til år variationen.

Hovedvariationerne er signifikante for alle næringsstoffer og klorofyl. Residualerne fra variansanalysen er dernæst afbildet i histogrammet, hvilket har vist, at residualerne tilnærmelsesvist er normalfordelte.

Efterfølgende er de estimerede hovedeffekter transformeret tilbage vha. exponential funktionen. Hvis α er middelværdien og β er spredningen på de estimerede hovedeffekter af de log-transformerede data, bliver den geometriske middelværdi μ for de utransformererede data

$$\mu = \exp(\alpha)$$

Et approksimativt 95 % konfidensinterval for den geometriske middelværdi fås som:

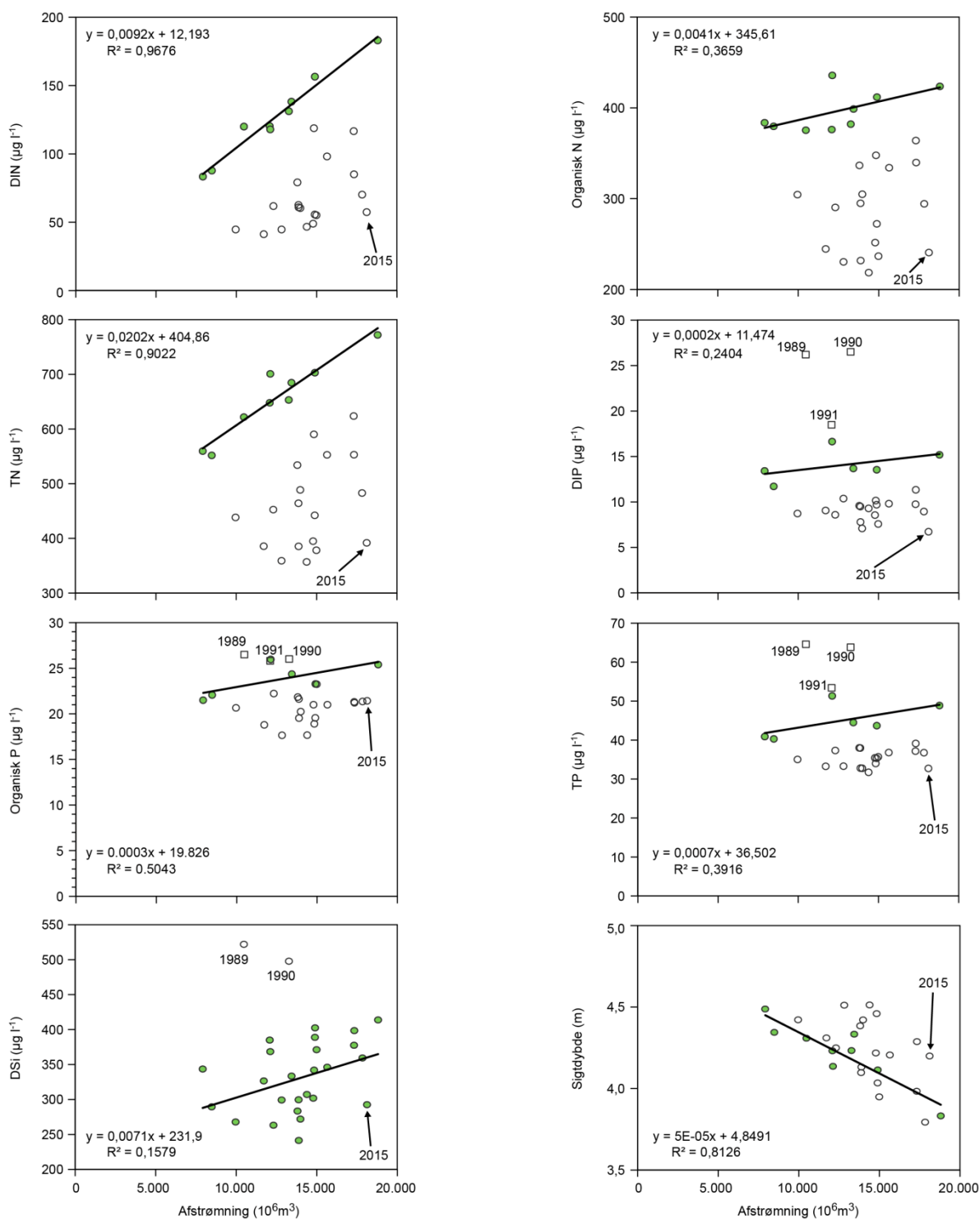
$$[\exp(\alpha - 2 \times \beta); \exp(\alpha + 2 \times \beta)]$$

Eksempelvis estimeres af variansanalysen, at middelniveauet for log(DIN) i bundvandet i 2015 var normalfordelt $N(4,14;0,044^2)$, hvilket ved transformationen ovenfor giver, at middelniveauet for DIN er $62,79 \mu\text{g N l}^{-1}$ med et 95 % konfidensinterval på $[57,45;68,63]$.

Korrektioner for klimatiske variationer

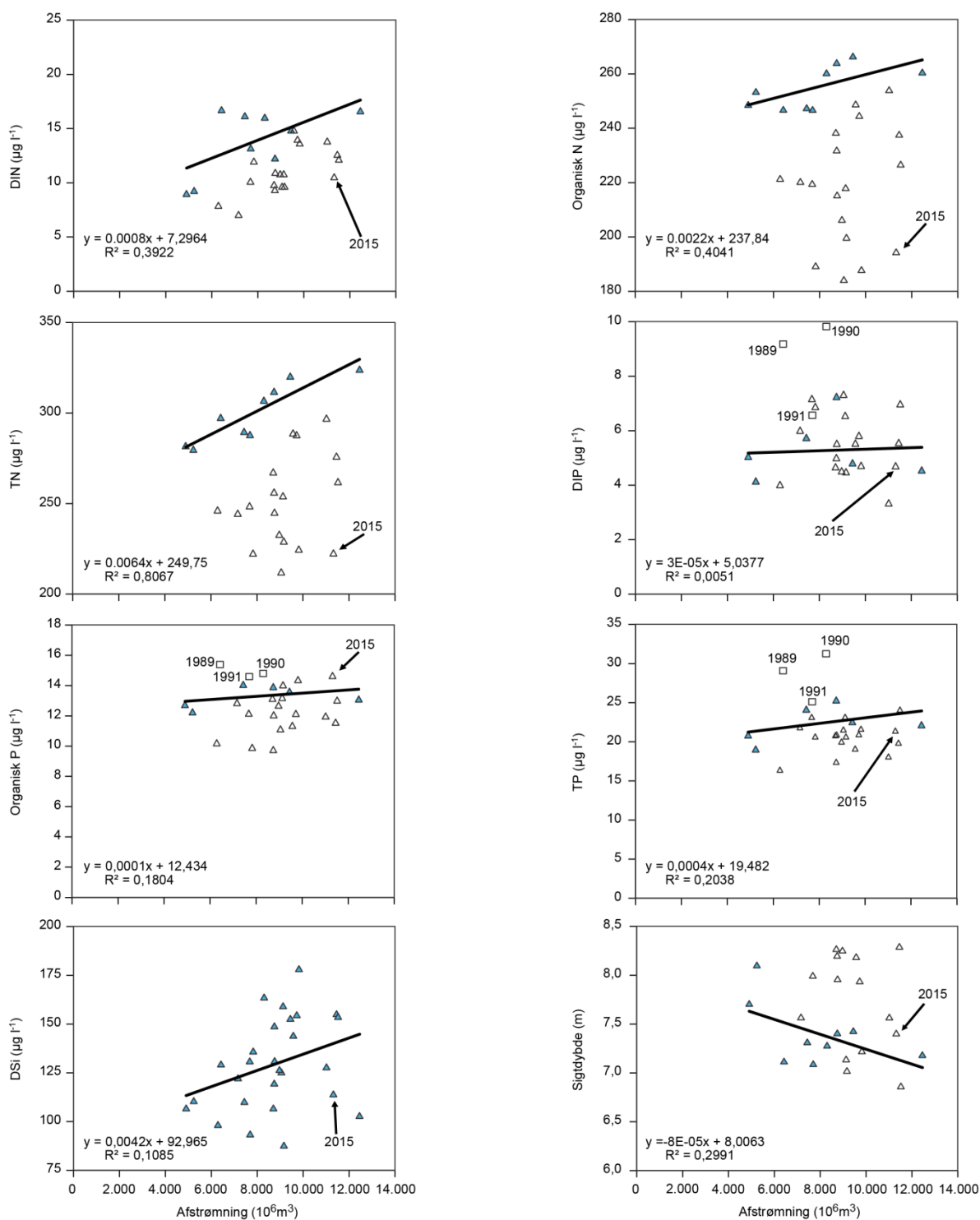
Ferskvandsafstrømningen er den vigtigste klimatiske faktor, som påvirker næringsstofkoncentrationerne, og afstrømningen blev derfor anvendt til at korrigere for klimatiske variationer. Der er udvalgt perioder for de forskellige næringsstoffer, hvor der med rimelighed kan forventes at være en forholdsvis entydig sammenhæng mellem koncentrationer og ferskvandsafstrømning.

Relationerne mellem afstrømning og middelkoncentrationerne af DIN og TN på basis af årene 1989-97 var særdeles gode i fjerne og kystnære områder (*figur B1.1*), hvilket er forventeligt, idet størstedelen af kvælstoftilførslen stammede fra diffuse kilder og dermed afstrømningen. Det må ligeledes forventes, at virkemidlerne i Handlingsplanen for Bæredygtigt Landbrug (vedtaget i 1991) først har haft en effekt på den diffuse tilførsel af kvælstof og fosfor fra midten af 1990'erne. For DIP og TP blev årene 1998-2015 udeladt af samme årsag som for kvælstof sammen med årene 1989-1991, hvor punktkildebidraget stadig var relativt stort. Det markante skift omkring 1998 blev ikke observeret for DSi, men til gengæld blev 1989 og 1990 udeladt, da detektionsgrænserne for mange af målingerne på amtsstationerne var meget høje og derfor påvirker middelkoncentrationerne.



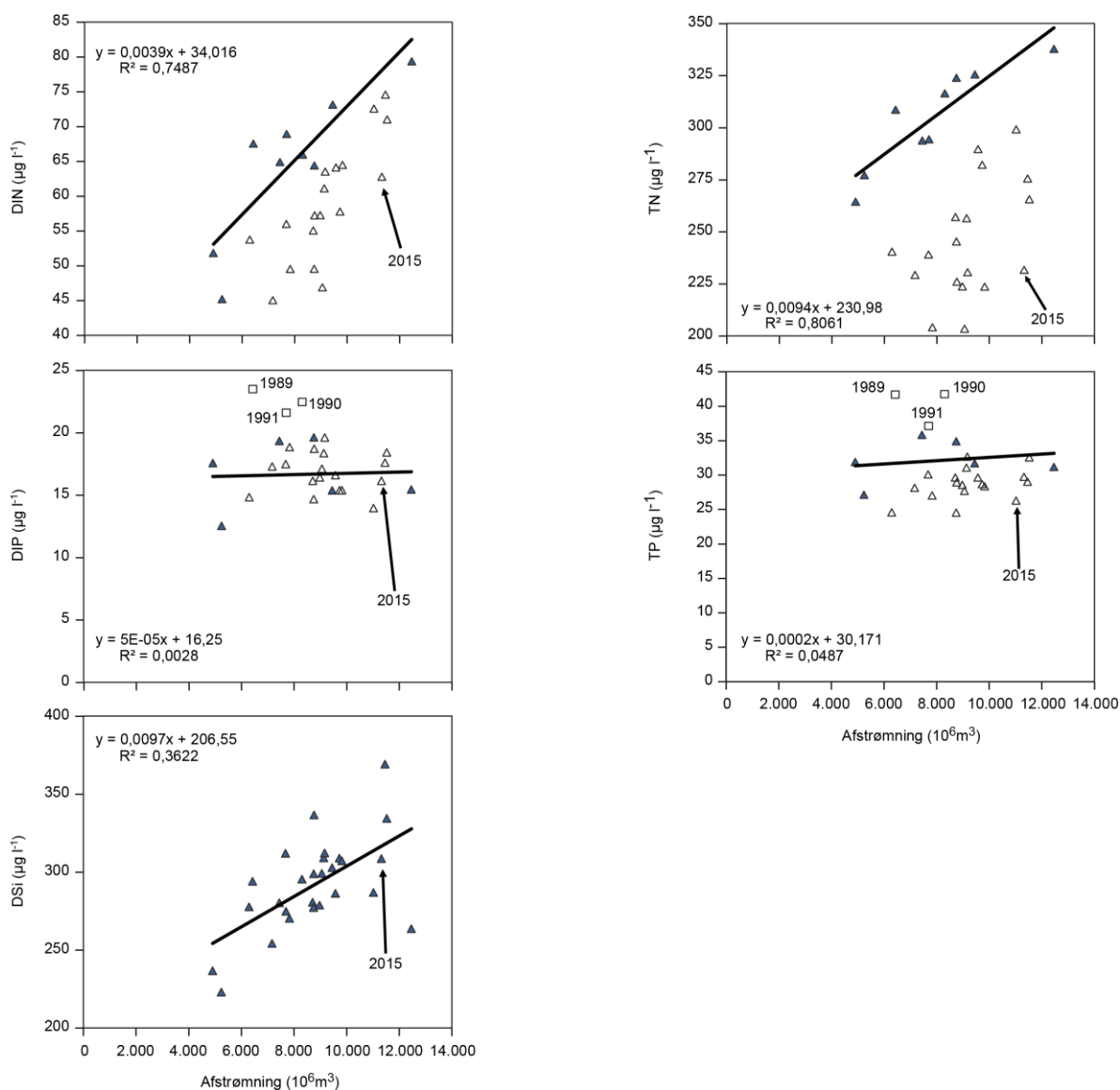
Figur B1.1. Årsmiddelkoncentrationer for DIN, TN, DIP, TP, DSI og sigtdybde i fjorde og kystnære områder mod afstrømning. Årene 1988-2015 er markeret med åbne symboler for DIN, TN, DIP, TP og sigtdybde. For DIP og TP er årene 1989-1991 markeret med firkanter, og for DSI er årene 1989 og 1990 markeret med åbne symboler.

Da næringsstofkoncentrationerne i fjorde og kystnære områder havde et meget karakteristisk skift i forhold til afstrømningen efter 1997, blev de samme kriterier for valg af data til bestemmelse af relationer benyttet for åbne farvande (DIN, TN: 1989-97; DIP, TP: 1992-97). For TN gav dette statistisk signifikante sammenhænge med afstrømningen, og for DIN, DIP og TP blev relationerne forbedret men blev dog ikke statistisk signifikante (figur B1.2). Alle år blev benyttet for DSI, da der ikke var noget karakteristisk skift omkring 1998.



Figur B1.2. Årsmiddelkoncentrationer for DIN, TN, DIP, TP, DSi og sigtdybde i overfladevand for åbne farvande (0-10 m) mod afstrømning. Årene 1988-2015 er markeret med åbne symboler for DIN, TN, DIP, TP og sigtdybde, og for DIP og TP er årene 1989, 1990 og 1991 markeret med firkanter.

I de åbne indre farvandes bundvand (≥ 15 m) blev de samme kriterier for valg af data til bestemmelse af relationer benyttet som for overfladevand (DIN, TN: 1989-97; DIP, TP: 1992-97; DSi: 1989-2015). For DIN, TN og DSi gav dette statistisk signifikante sammenhænge med afstrømningen, hvorimod DIP og TP ikke viste nogen stærk sammenhæng mod afstrømningen (figur B1.3).



Figur B1.3. Årsmiddeldkoncentrationer for DIN, TN, DIP og TP for bundvand (≥ 15 m) i åbne indre havområder mod afstrømning. Årene 1998-2015 er markeret med åbne symboler for DIN, TN, DIP og TP, og for DIP og TP er årene 1989, 1990 og 1991 markeret med firkanter.

MARINE OMRÅDER 2015

NOVANA

I 2015 blev de senere års positive udvikling i havmiljøet fastholdt for nogle parametre, mens der var en mindre tilbagegang for andre parametre. Året var karakteriseret ved en stor afstrømning og dermed tilførsel af næringsstoffer fra land i starten og slutningen af året, relativt høje temperaturer og en del vind hen over sommeren. Til trods for den store afstrømning i årets start var næringsstofkoncentrationerne hovedsageligt lave, og i enkelte tilfælde de hidtil laveste siden 1989. Væksten (primærproduktion) og mængden af planteplankton (klorofyl) var generelt på et forholdsvist lavt niveau, mens vandets klarhed var gennemsnitligt for perioden siden 1989. Forholdene i de frie vandmasser var således relativt gode, om end de var lidt dårligere end i 2013 og 2014. Dybdeudbredelsen af makroalger på stenrev var, i overensstemmelse med de senere års relativt gode forhold i de frie vandmasser, markant forøget i forhold til de tidligste registreringer og på niveau med udbredelsen de seneste år. Iltsvindets udbredelse var på samme niveau som i 2014 til trods for en forventning om bedre iltforhold grundet lavere temperaturer og markant mere vind. Bundfaunaen i fjordene er reduceret i antal, biomasse og biodiversitet i perioden 1998-2015, mens der ikke er sket nogen tydelige udvikling for bundfaunaen ved kysterne. Bundfaunaen i de åbne indre farvande er de seneste år øget i antal, biomasse og biodiversitet efter mange års tilbagegang. Bestanden af spættet sæl er mangedoblet over en længere årrække men har været rimelig stabil de sidste par år, hvor gråsæl er steget markant. Tætheden af marsvin varierer meget fra år til år uden tydelig udviklingstendens. Til trods for de senere års observerede forbedringer af miljøtilstanden viste udviklingen i 2015, at de danske farvande fortsat er meget sårbare over for påvirkninger og endnu langt fra en stabil og god miljøtilstand. Ud over tilførslen af næringsstoffer (eutrofiering) påvirkes miljøtilstanden negativt af mange andre forhold såsom fiskeri, klimaforandringer og miljøfarlige stoffer. De fleste miljøfarlige stoffers koncentration var på niveau med eller lavere end tidligere, men koncentrationerne af især kviksølv, organotin (TBT), enkelte tjærestoffer (PAH) og bromerede flammehæmmere (PBDE) var flere steder så høje, at disse stoffer kan have uønskede effekter i vandmiljøet. Sammenfattende viser dataene fra det nationale overvågningsprogram, at indsatsen for at sikre et bedre havmiljø virker. Men havmiljøet er fortsat sårbart, og dets respons på ændringer i påvirkninger er meget komplekst og tager lang tid.