

Overvågning af klorofyl og næringsstoffer i Nordsøen

Status primo 2018

Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 6. juli 2018

Hans Henrik Jakobsen og Stiig Markager

Institut for Bioscience

Rekvirent:
Miljøstyrelsen
Antal sider: 11

Faglig kommentering:
Karen Timmermann
Kvalitetssikring, centret:
Susanne Boutrup



AARHUS
UNIVERSITET

DCE - NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Tel.: +45 8715 0000
E-mail: dce@au.dk
<http://dce.au.dk>

Indhold

Forord	3
Analyse af data for klorofyl og næringsstoffer	3
Landenes aktuelle aktiviteter	8
Sammenfatning	10
Referenser	11

Forord

Dette notat er bestilt af Miljøstyrelsen med henblik på at få et overblik over nuværende strategier, aktiviteter og metoder for overvågning af miljøtilstanden i den danske del af Nordsøen samt tilgrænsende vandområder, der skønnes at have umiddelbar indflydelse på miljøtilstanden. Notatet omhandler primært klorofyl koncentrationer, men inddrager også næringsstoffer og handler kun om de overvågningsaktiviteter, som relaterer sig til miljøtilstanden i pelagialet.

Miljøstyrelsen har oplyst, at baggrunden for bestillingen er overvejelser om at supplere det eksisterende miljøovervågningsprogram med ét intensivt overvågningsår i Nordsøen. I den forbindelse er det vigtigt: (1) at det nye program er bedst muligt koordineret med de øvrige landes aktiviteter, (2) er omkostningseffektivt, (3) inddrager den nyeste teknologi – herunder anvendelse af modeller for interpolation af data i tid og rum samt (4) at det er afstemt med tidligere aktiviteter – bevarelse af tidsserier og (5) peger fremad, så det kan danne grundlag for en fremtidig overvågning i forhold til Havstrategidirektivet.

Projektleder for Aarhus Universitet har været professor Stiig Markager. Endvidere har seniorforsker Hans Jakobsen og Post Doc. Therese Harvey bidraget. Kontaktpersoner fra Miljøstyrelsen har været Ph.d. Helle Knudsen-Leerbeck og Ph.d. Ane Ravn.

Analyse af data for klorofyl og næringsstoffer

Dataindsamling

Data for klorofyl og næringsstoffer er indsamlet fra ICES database og omfatter data indberettet fra Norge, Tyskland, England og Holland. Dertil er Miljøstyrelsens egne data, indsamlet under NOVANA overvågningsprogrammet, inkluderet. Stationer, hvorfra der er indhentet fra ICES, er afbilledet på *figur 1a* og stationer, hvorfra der er indhentet data fra NOVANA, er vist på *figur 1b*. For data indhentet fra ICES er opdelingen af stationer i den åbne del af Nordsøen og stationer under indflydelse af flodsystemer fortaget manuelt, hvorimod der er anvendt 12 sømil som afgrænsning mellem åbne og kystnære stationer for NOVANA data. Opdelingen er vist i *figur 1a* og *1b*. I de tilfælde hvor der er indhentet data fra samme station over flere dybder, er der beregnet et gennemsnit for klorofyl og næringsalte for de øverste 20 meter af vandsøjlen, som skønnes at dække den fotiske zone.

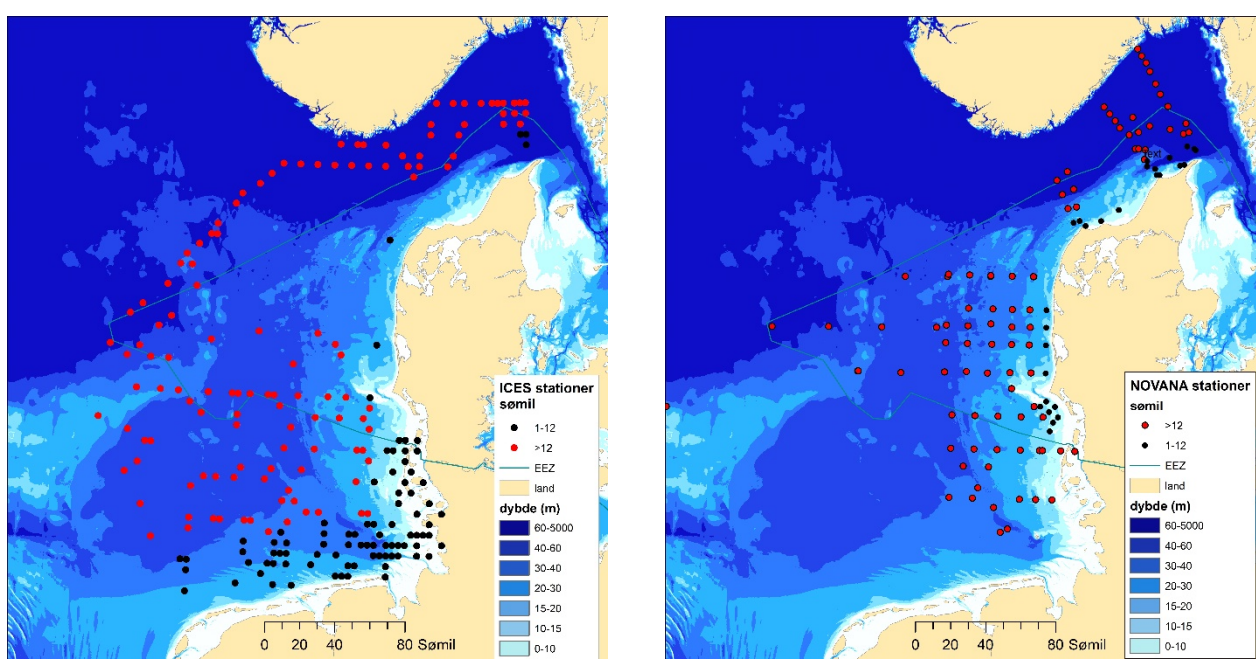
Opdelingen i en kystnær del af Nordsøen og den åbne del er fortaget for at adskille indflydelsen fra de store europæiske floder Rhinen, Weser og Elben fra den åbne del af Nordsøen. Der tilføres de kystnære områder store mængder af næringsstoffer, som også føres op langs den jyske vestkyst med Jyllandstrømmen. Dette medfører, at næringsalte ledes langs med kysten og kan give ophav til forøgede næringsaltkoncentrationer og klorofylniveauer, der er væsentlig højere end i den åbne del af Nordsøen. Der er beregnet årgennemsnit for året 2016 separat som et eksempel på et enkelt år. Disse tal skal vurderes ud fra, at enkelt års bestemmelser er baseret på langt færre målinger end det generelle gennemsnit for perioden 1997 - 2016. Eksempelvis er der totalt 36 klorofyl målinger i området, der defineres som kystnært, med fravær af klorofyl bestemmelser i månederne marts og april.

Klorofyl

Der er i alt indsamlet 19.266 klorofylbestemmelser, men data er sorteret således, at kun målinger foretaget efter 1996 er medtaget i beregningen, for at fokusere analysen på de sidste 20 års månedlige koncentrationer af klorofyl *a*. Det betyder, at der indgår 11.857 observationer af klorofyl *a* koncentrationer fordelt på 5.110 stationsbesøg mellem 1997 og 2016 i det behandlede datasæt. Der er således indsamlet prøver fra flere dybder på samme station ved samme besøg. Heraf udgør data fra ICES ca. 28% af det samlede datasæt.

Kvælstof

For opløst uorganisk kvælstof (DIN) er der i perioden 1997-2016 indsamlet 189.793 prøver fordelt på 59.660 stationsbesøg. Der er således langt flere observationer af næringsalte end af klorofyl. Heraf stammer 54.250 stationsbesøg fra ICES, hvorimod NOVANA udgør 5.410 (ca. 10%) af stationsbesøgene.



Figur 1. Kort over Skagerrak/Nordsøen. *Figur 1a* markerer stationer, hvorfra der indhentet data fra ICES og dækker perioden 1981 – 2016. *Figur 1b* viser station, hvorfra der er indhentet data fra NOVANA programmet for perioden 1972 – 2017. Røde symboler er stationer, der skønnes at høre til den åbne del af Nordsøen (ICES) eller udenfor 12 sømil grænsen (NOVANA), mens sorte markeringer er målepunkter der er under indflydelse af de europæiske flodsystemer. EEZ dækker den Danske økonomiske zone¹

Sæsonfordeling af klorofyl på områder

Data til beskrivelse af sæsonfordelingen af klorofyl i Nordsøen stammer i denne analyse primært fra den hollandske, tyske (ICES) samt den danske (NOVANA) del af Nordsøen. For data i perioden 1997-2016 er der beregnet en månedsmiddel for klorofyl koncentrationen for hver kalendermåned. I det kystnære område er der to toppe, en i marts og en i september, med klorofyl koncentrationer omkring 6-7 μg klorofyl L^{-1} . Der er også en mindre top juni måned på omkring 6 μg klorofyl L^{-1} , men denne top kan meget vel skyldes,

¹ EEZ, forkortelse for eng. *Exclusive Economic Zone*, da. *eksklusiv økonomisk zone*, havområde indtil en afstand af 200 sømil fra kysten, som en kyststat har eneret til mht. udnyttelse af havets, havbundens og undergrundens resurser. EEZ ligger i forlængelse af kyststatens territorialfarvand og den tilstødende zone (kilde: Gyldendals Store Danske)

at de meget høje juni værdier i 2016 indgår i beregningen af månedsmiddelværdier. Generelt ligger månedsmiddel værdierne i størrelsesordenen mellem 4 – 6 µg klorofyl L⁻¹ for perioden marts – november, med et spæn mellem første kvartil og tredje kvartil på 2,3 og 9,4 klorofyl L⁻¹. Året 2016 var præget af fravær af data fra forårs månederne, samt en meget høj sommerværdi målt i juni, som ligeledes repræsenterer den højeste klorofylværdi i datasættene for kystnære målinger.

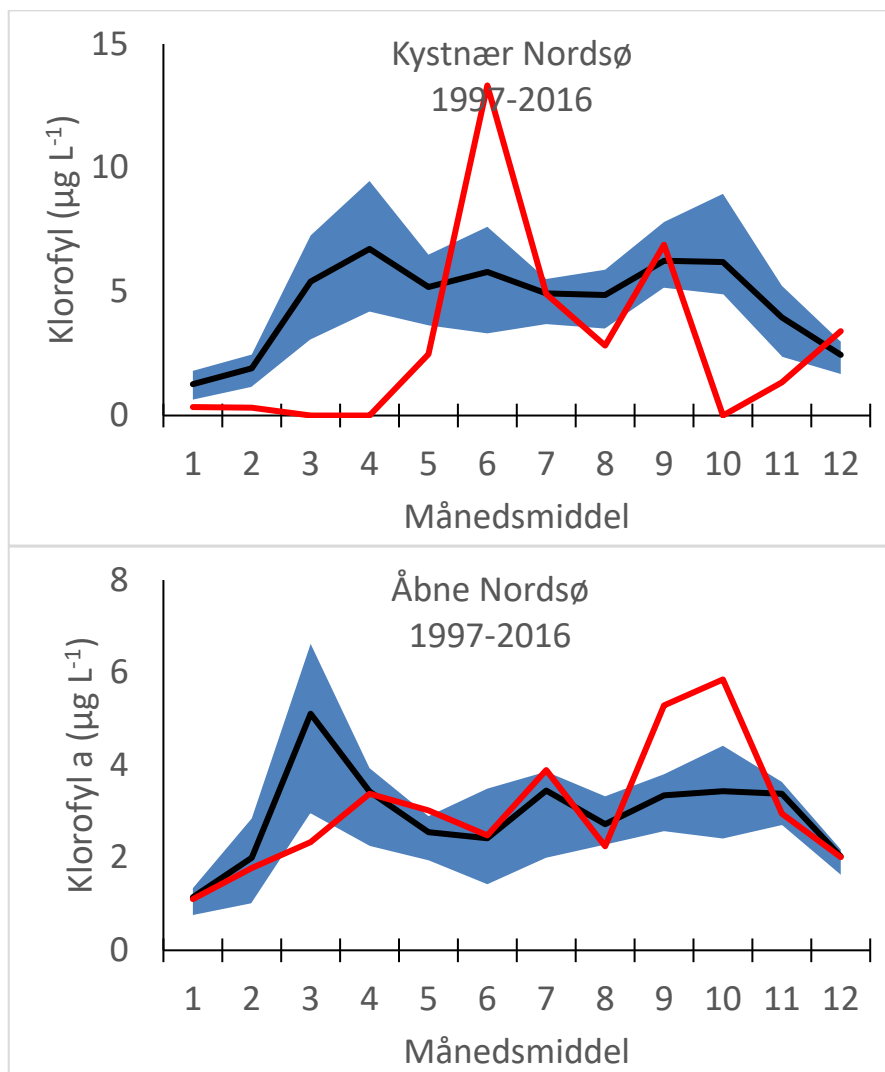
Det skal bemærkes, at det kystnære system er meget dynamisk m.h.t. klorofyl og de laveste månedsmiddelværdier målt i sommerperioden er 0,7 klorofyl L⁻¹ målt i august og de højeste målte månedsmiddelværdier er 15,4 klorofyl L⁻¹ bestemt i juni 2016 (vist på figur 2 med rød linje).

Faktaboks: I åbne havområder så som Nordsøen lagdeltes vandsøjlen typisk om sommeren når overfladevandet opvarmes af solen. I skilleflade mellem lagdelingen observerer man ofte et dybtliggende maksimum i klorofylkoncentrationen. Oftest skyldes ophobningen af fytoplankton, at der i skillefladen er både lys og næringsstoffer tilstede. I nogle tilfælde kan et klorofylmaksimum også dannes når alger, der sedimenterer ned fra det opblandede overfladelag, bremses i phyknoklinen hvor saltholdigheden og dermed vægtfylden stiger.

Det betyder, at der kan forekomme enkelte meget voldsomme opblomstringer, der i nogle tilfælde begynder i Den Engelske Kanal og føres med den nordgående havstrøm mod de danske kyster, samtidig med at algerne vokser. Forårsopblomstringen begynder i marts og domineres normalt af kiselalger. Kiselalgerne afløses dog hurtigt af masseforekomster af prymnesiophyten *Phaeocystis*, der er i stand til at udnytte alternative kvælstofkilder, så som opløst organisk kvælstof. Denne alge har en speciel vækstform og kan forekomme både som enkelt celler og i store kolonier, hvor den sidste form ikke er udsat for græsning af vandlopper. Kombinationer af nedsat græsningstryk og vækst baseret på opløst organisk kvælstof danner ofte meget høje klorofyl koncentrationer i fraværet af kvælstof (*Ray m.fl. 2016*).

I den åbne del af Nordsøen sker forårsopblomstringen i marts-april med en forekomst på 5 µg klorofyl L⁻¹ (middelværdi, figur 2). September toppen rammer 3 µg klorofyl L⁻¹ og er således lidt mindre, mens spændet mellem 1. og 3. kvartil er 1,8 og 3,8 µg klorofyl L⁻¹ og udviser en mindre top. Den højeste og laveste månedsmiddelværdi er hhv. 5 og 0,7 µg klorofyl L⁻¹ i sommerperioden mellem forårs- og efterårsopblomstringen (ikke vist på figur), og indikerer at der kan forekomme store opblomstringer i juli måned fx pga. et dybtliggende klorofyl maksimum.

Figur 2. Klorofylkoncentrationer ($\mu\text{g L}^{-1}$) beregnet fra ICES og NOVANA databaserne som månedsmiddelværdier. Gennemsnit af dybde <20 meter. Fuldt optrukne sort linje repræsenterer månedsmiddel beregnet for perioden 1983-2016. Blåt udfyldt område indikerer 1 hhv. 3 kvartil. For den kystnære del af Nordsøen er månedsværdien i måned 6 (juni) højere end 3. kvartil, hvilket er forårsaget af enkelte meget høje målinger i 2016. Rød fuldt optrukken linje er data fra året 2016.



Sezonfordeling af næringsstoffer på kystnære og åbne områder i Nordsøen

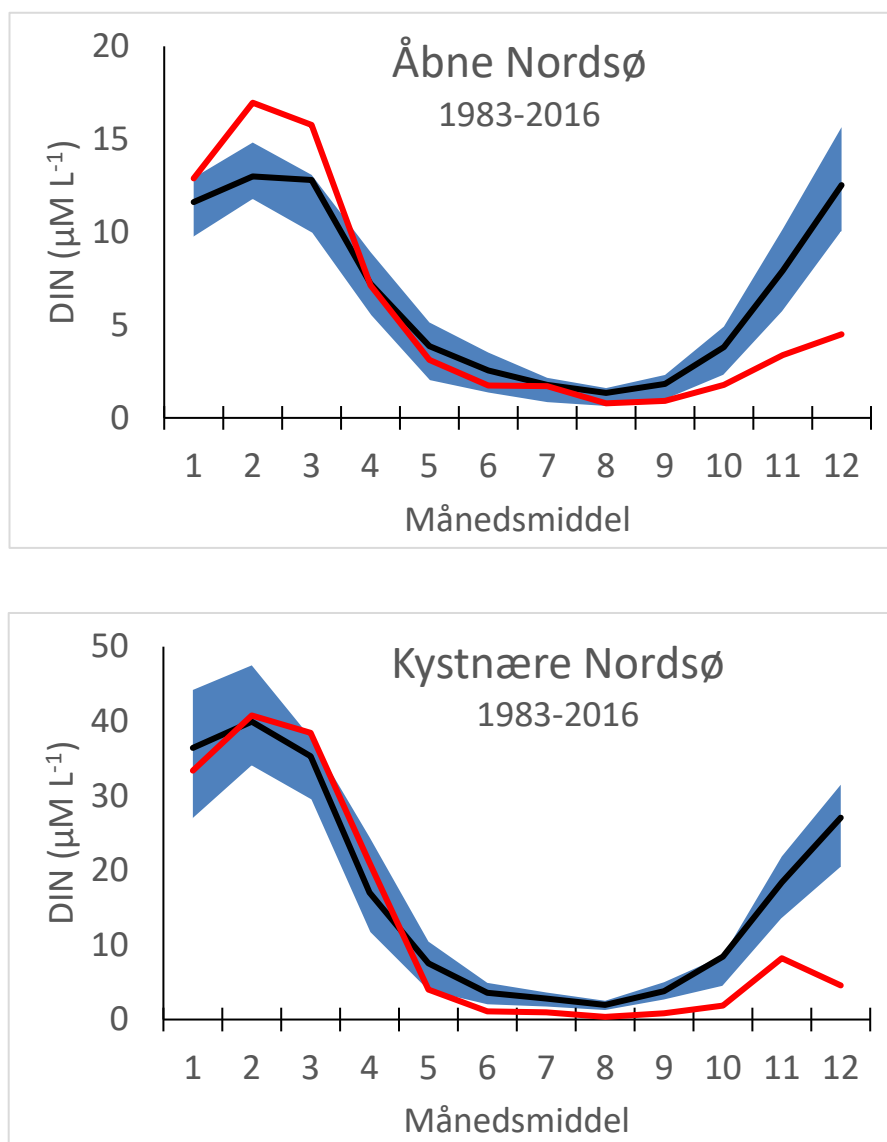
Næringsalte er her præsenteret som opløst uorganisk kvælstof (dissolved inorganic nitrogen: DIN), der er beregnet som summen af kvælstof fra ammonium, nitrit og nitrat.

I den kystnære del af Nordsøen varierer DIN mellem 35 og 40 μM i perioden januar – marts (*figur 3* nederst). Derefter falder DIN til omkring 2 μM i juni – juli. Det kraftigste fald sker i april måned og viser, at forårsopblomstringer normalt først sker i april måned i overensstemmelse med klorofyl værdierne.

Data for året 2016 (vist med rød streg på *figur 3*) følger generelt samme forløb som periodegennemsnittet, men med lidt højere vinterværdier (33 – 40 μM) og markant lavere sommerværdier, under 1 μM . Vinterværdierne for 2016 ligger i 1. kvartil for 1983-2016 og er således markant lavere end normale. Sommerværdierne fra juni og året ud i 2016 viser værdier under 1. kvartil, hvilket kan indikere, at der er sket et generelt fald i niveauet af DIN sammenlignet med hele perioden.

I den åbne del af Nordsøen varierer DIN mellem 13 μM i perioden januar – marts, altså på et lavere niveau end kystnært (*figur 3* øverst). Derefter falder DIN til under 1 μM i juni – juli.

Figur 3. Sæsonfordelingen af uorganisk opløst kvælstof (DIN, μM) beregnet fra ICES databasen. Sort fuldt optrukken linje repræsenterer månedsmiddel beregnet som perioden 1983-2016. Blåt udfyldt område indikerer 1. hhv. 3 kvartil. Rød linjen er værdier for 2016. Øverste figur viser det kystnære område og nederste figur beskriver den åbne del af Nordsøen.



Data for året 2016 (vist med rød streg på figur 3) følger generelt samme forløb som periodegennemsnittet, men igen med værdier under 1. kvartil fra august og året ud. Vinterværdierne er noget højere end vinterværdierne for periodegennemsnittet (13-18 μM), for februar betydeligt over 3. kvartil.

I fortolkning af 2016 værdier skal man være opmærksom på, at der var en meget høj nedbør i slutningen af 2015 og starten af 2016 i Danmark. Det kan være generelt for hele oplandet til Nordsøen, men det er ikke undersøgt. Det kan være en forklaring på, at vinterværdierne var højere end normalt.

Dybdefordeling af klorofylprøver

Ud af de 5.110 observationer af klorofylkoncentrationer er 48 % af alle observationer indsamlet mellem 0 og 1 meters dybde i den kystnære, og i den åbne del af Nordsøen er ca. 30 % af alle indsamlinger foretaget inden for den første meter. Fra intervallet mellem 1 - 6 meters dybde er der indsamlet mellem 50 og 75 % af alle klorofylmålinger for hhv. kystnære og åbne havområder. Omkring 90-96 % af alle målinger er dybder under 24 meters dybde (tabel 1). Dybdeintervallet mellem 12 og 24 meter vil typisk dække en prøvetagning, der

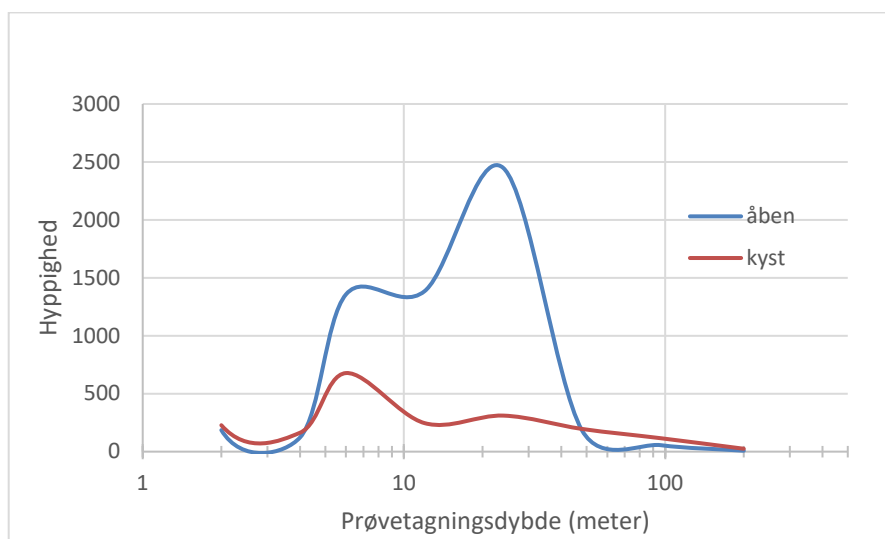
forsøger at få observationer fra et dybtliggende klorofyl maksimum (*se faktaboks*), men udgør en mindre del af det samlede observationssæt.

Tabel 1. Den kumulative fordeling (%) af indsamlingsdybderne i den kystnære og den åbne del af Nordsøen

Dybde(m)	Kystnære havområder	Åbne havområder
0	1,2%	0,1%
1	47,2%	29,4%
2	53,3%	31,7%
4	57,7%	33,2%
6	75,9%	49,9%
12	82,6%	66,9%
24	90,9%	96,9%
48	96,2%	99,2%
96	99,3%	99,9%
200	100%	100%

Figur 4 afspejler fordeling af hyppigheder af prøvetagningsdybder mellem det kystnære og det åbne vand. Langt hovedparten af observationerne i det kystnære vand findes fra dybdeintervallet mellem 4 - 10 meter, hvorimod prøver indsamlet i den åbne del klynger sig inden for dybdeintervallerne 4 - 10 meter samt omkring 20 meters dybde.

Figur 4. Oversigt over hyppigheden af prøvetagningsdybder i Nordsøen fra data indrapporteret til ICES. Rød fuldt optrukken linje indikerer prøvetagningsdybder tæt på kysten. Bemærk at akserne med prøvetagningsdybder er log10 skala.



Landenes aktuelle aktiviteter

Ferrybox system

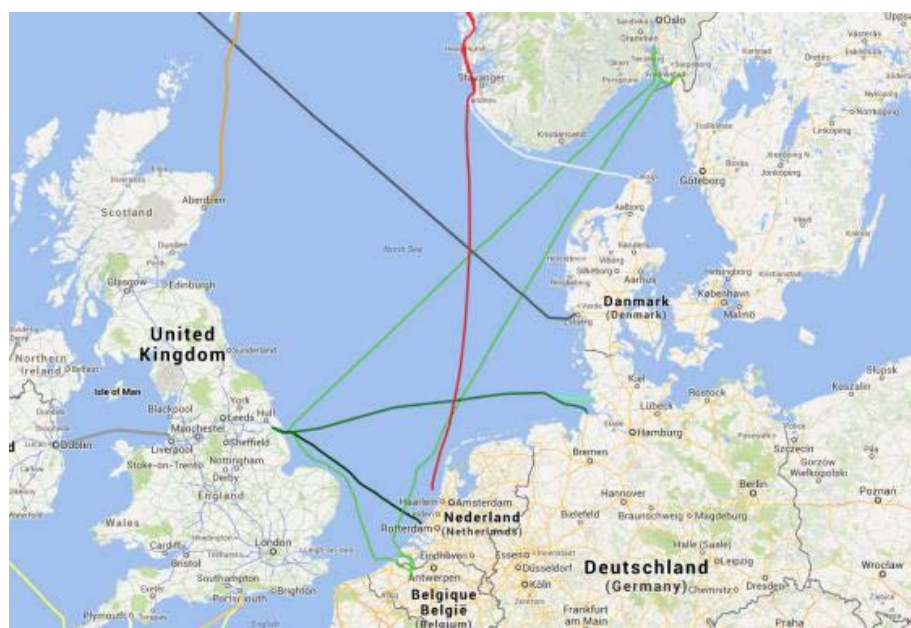
Et ferrybox system er oftest monteret på et kommercielt skib, så som færger eller fast fragtrute. Disse skibe betegnes "ships-of-opportunity". Skibene er typisk udstyret med en række forskellige sensorer, som måler på et vandindtag fra en fast dybde på ca. 7 m. Der kan i visse tilfælde også være sensorer monteret på dækket af skibet. De almindeligste data, som samles ind, er temperatur, saltholdighed, klorofyl fluorescens, turbiditet, pH og ilt. Anvendelse af ferrybox-systemer kan i høj grad øge datatætheden, fremfor alt med

hensyn til den temporale opløsning, som jo stiger markant, da sensorerne måler kontinuert, når skibet sejler. Men det skal understreges, at målingerne ligger tæt langs skibets rute, og ét enkelt ferryBox datasæt derfor ikke nødvendigvis er repræsentativt for et helt havområde. En undersøgelse udført af det hollandske Rijkswaterstaat sammen med Deltares i 2017 har kortlagt omfanget af aktive ferrybox systemer i Nordsøen (Blauw *m.fl.* 2017). Potentialet for at anvende data i monitoring blev undersøgt med hensyn til troværdighed af data, og med hensyn til, hvilke sensorer det er muligt at bruge. Teksten nedenfor er baseret på dette studie.

Den tidsmæssige opløsning som typisk er daglig til ugentlig, afhængig af sejlplan, kan i tilfælde af skydække erstatte satellitdata. Data fra Ferrybox systemer leverer kontinuerlige observationer med høj frekvens men kontinuerlig kalibrering og valideringer er afgørende for at sikre pålidelig data. Diskrete vandprøver kan samles ind vha. af automatisk prøveindsamler, som gemmer en vandprøve for senere analyse i laboratoriet og eventuelt kalibrering af sensorer.

Forskellige skibruter har ferrybox systemer installeret, og et kort med de tidligere og nuværende ruter er vist i figur 5. Ruterne går mellem Amsterdam og Bergen. Cuxhaven (sluttede 2005) og Harwich. Cuxhaven og Immingham (sluttede 2012). Rotterdam og Immingham eller Moss-Halden-Zeebrugge-Immingham.

Figur 5. Kort over de tidligere og nuværende Ferrybox linjer i Nordsøen. Kort fra Blauw (2017).



Resultater fra studiet viser, at ferrybox data er interessante at bruge, og kan bidrage med relevante data. Overfladevandet i Nordsøen er imidlertid karakteriseret af meget høj heterogenitet, og det er ikke muligt at anvende vandprøver fra parallelle monitoringsprogrammer til kalibrering af ferryboxe. Det anbefales derfor, at der installeres autosamplers efter samme princip, som allerede er anvendt på ruter i Østersøen. Dertil kan indsamlede prøver analyseres med relevante metoder for at kombinere data med andre data typer som eksempelvis observationer fra satellitter.

Installation af bio-optiske sensorer på dækket til supplement af ferrybox målingerne kan anbefales. Det kan fx være Trios Ramses sensorer, som måler spektral reflektans og målinger af andre optiske parametre som absorption og spredning (med PSICAM eller ACS sensorer). Information om artssammensætning baseret på Cytosense flowcytometer eller FRRF sensorer eksisterer, men kræver eksperter for kalibrering og validering.

Konklusionen er, at data fra de nuværende ferrybox systemer vurderes ikke til at være tilpassede de gældende monitoringsbehov, men at det er muligt at forbedre det i fremtiden. Studiet viser også, at data fra ferrybox systemer kræver løbende service for at fungere, da sensorerne udfordres af begroning, hvis de ikke rengøres og vedligeholdes rutinemæssigt. Det er derfor afgørende at allokere tilstrækkelige ressourcer for kvalitetskontrol og tolkning af data. Det er anslået, at det koster i størrelsesordenen 3 – 4 mandemåneder årligt at drive et enkelt ferrybox system (Petersen *m.fl.* 2005)

Konkrete forslag til at bruge ferryboxes i hollandsk monitoring er:

- Start med at bruge ferrybox systemer til indsamling af støttedata for en indikator for fytoplankton i relation til eutrofiering for Nordsøen
- Samarbejde med andre lande omkring operationel drift af et ferrybox system, som har de samme sensorer.
- Installation af autosampler system til indsamling af prøver til kalibrering
- Installation af TRiOS Ramses System, til bestemmelse af eksempelvis opløst organisk kulstof.

Sammenfatning

- 1) Data for klorofyl fra Nordsøens pelagiale system viser to typiske sæsonopblomstringer af klorofyl. Disse toppe er karakteristiske i såvel den kystnære del som i den åbne del. Månedsmidlerne for toppene er væsentlig højere end de tilsvarende værdier i de åbne indre danske farvand og fjorde og kystnære havområder (Hansen 2018 ; ca. 7 vs. Ca. 5 μg klorofyl L^{-1}). Det kan skyldes, at lagdelingen i Nordsøen er mere ustabil, så der selv om sommeren kan forekomme opblanding af bundvand med højere næringsstokkoncentrationer, som så udløser algeopblomstringer. I forhold til overvågning betyder det, at en højere frekvens af målinger i hele vækstperioden er afgørende for at få en rimelig sikkerhed for et års sæsonværdi. Det skal også bemærkes, at monitoringsdata inden for den danske EEZ zone overvejende dækkes af data indsamlet i NOVANA, og tilstrækkelige data for eksempelvis klorofyl, kan ikke indsamles fra eksterne datakilder til erstatning af NOVANA data.
- 2) I OSPAR defineres vækstsæsonen (den periode som en årsværdi for klorofyl indikatoren dækker) som marts til september for de nordlige områder, mens oktober er med for de sydlige områder. Det er problematisk, at oktober ikke er med for de nordlige områder, idet der også forekommer fytoplankton vækst i oktober, men det spørgsmål ligger i OSPAR regi. I forhold til et dansk overvågningsprogram er det vigtigt, at de indsamlede data kan anvendes til at beregne i årlig indikatorværdi, idet en helårs indikator oftest inkluderer flere målinger og kan respondere på flere typer af ændringer (klimaforandringer, ændringer i tilførsler mm).

- 3) Monitering af fytoplankton i Nordsøen vil antagelig i fremtiden blive udført med en *kombination af forskellige metoder*. Der er dog en del udfordringer. I særdeleshed er både satellit og ferrybox målinger baseret på målinger i *overfladevand*, og der er derfor en overvejende risiko for at overse klorofylmaksimummet (se faktaboks). Ligeledes er der store år-til-år variationer, hvilket illustreres af *figur 2*, hvor et enkelt år, her vist for året 2016, afviger markant fra månedsmiddel for perioden 1997 - 2016. Dette afspejles også i forskellen mellem første og tredje kvartil, som på månedsbasis i perioden april - oktober viser stor forskelle. Det er derfor risikabelt at basere fremtidige modeller og konklusioner på skibsmålinger fra enkelt år. Det anbefales, at der til stadighed fortages skibsbaserede målinger i Nordsøen efter et fast program.
- 4) *Kalibreringen* af de forskellige metoder i forhold til hinanden udgør en udfordring. Det bør ske løbende for at sikre at der fortsat er løbende kvalitetskontrol af data i forbindelse med service udskiftning samt mellem de enkelte skibe og landes sensorer. Dette bør gøres for fortsat at opretholde kontinuitet i tidsserier samt overensstemmelse mellem data til beregningen af referencetilstanden.

Referenser

Blauw A. M Rikjeboer. H Ardema. 2017. "Strategy for Implementation of Ferryboxes". Deltares. The Netherlands

Hansen. J. W. Marine områder 2016 NOVANA. Hansen. J. W. 253. 2018. Aarhus. Aarhus Universitet. (*In Danish language*) Videnskabelig rapport fra DCE -Nationalt Center for Miljø og Energi.

Petersen W. Colijn F.. Hyde D. og Schroede F. 2005 FerryBox: From On-line Oceanographic Observations to Environmental Information. Rapport fra EU Project FerryBox 2002-2005 www.ferrybox.org

Ray. J. L.. K. S. Skaar. P. Simonelli. A. Larsen. A. F. Sazhin. H. H. Jakobsen. J. C. Nejstgaard. and C. Troedsson 2016. Molecular analysis of *Calanus* grazing during a seawater mesocosm experiment. Part I. Specific quantification of *Phaeocystis pouchetii* and *Skeletonema marinoi* in seawater and copepod gut content. *Mar Ecol Prog Ser* 542: 63-77.