

Blågrønalger i Østersøen

Notat om overvågning af blågrønalger og anvendelse af satellitbaseret fastsættelse af miljøtilstand

Notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 9. marts 2020

Hans Henrik Jakobsen

Institut for Bioscience

Rekvirent:
Miljø- og Fødevareministeriet

Antal sider: 15

Faglig kommentering:
Karen Timmerman

Kvalitetssikring, DCE:
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

Resume	3
1. Introduktion	4
1.1 Blågrønalger - generelt	4
1.2 Blågrønalger i Østersøen – data fra fytoplanktontællinger, HELCOM	6
1.3 Blågrønalger - fytoplanktontællinger, NOVANA	6
1.4 Anvendelse af satellitter i monitorering af blågrønalger	9
2. Konklusion og anbefaling	13
3. Referenceliste	14

Resume

Dette notat belyser brugen af satellitter til monitorering af blågrønalg i Østersøen med udgangspunkt i indikatoren CyaBI udviklet af SYKE¹. Der er i det danske NOVANA-program fundet begrænset udbredelse af blågrønalg af en størrelsesorden, der betegnes opblomstringsniveauer. Dette er vist med beregninger af medianværdier for blågrønalg, indhentet fra NOVANA-databasen. Derudover argumenteres der på baggrund af måledata for, at masseforekomster af blågrønalg i det marine miljø i Danmark er drevet af salinitet.

Anvendelsen af CyaBI-indikatoren, der er baseret på satellitobservationer vægget mod fytoplanktontællinger i mikroskop, vurderes til at have et stort potentiale for at dække hele Østersøen. Anvendelse af satellitobservationer sammen med mikroskopdata anses for teknisk-videnskabeligt veldokumenteret.

På grund af saliniteterne, der i havet omkring Danmark generelt er højere end i Østersøen, er CyaBI-indikatoren kun relevant i Bornholmer Dybet og Arkona bassinerne i den østligste del af Danmarks havområde.

Med baggrund i den videnskabelige-tekniske kvalitet af CyaBI-indikatoren anbefaler DCE derfor, at Danmark ophæver sin *'study reservation'*.

¹ Finnish Environment Institute.

1. Introduktion

Dette notat er bestilt af Miljø- og Fødevarerministeriet, MFVM, der ønsker belysning af relevansen af 'Cyanobakterial bloom indicator (CyaBI)'-indikatoren som grundlag for at ophæve eller fastholde det nuværende danske '*study reservation*'.

Miljø- og Fødevarerministeriet har læst og kommenteret et udkast til notatet og i den forbindelse haft opklarende spørgsmål. Disse er besvaret i den endelige version.

CyaBI indikatoren er et mål for udbredelse og frekvensen af masseforekomster af blågrønalger og er defineret som den relative udbredelse af blågrønalger i overfladen i forhold til en referenceperiode.

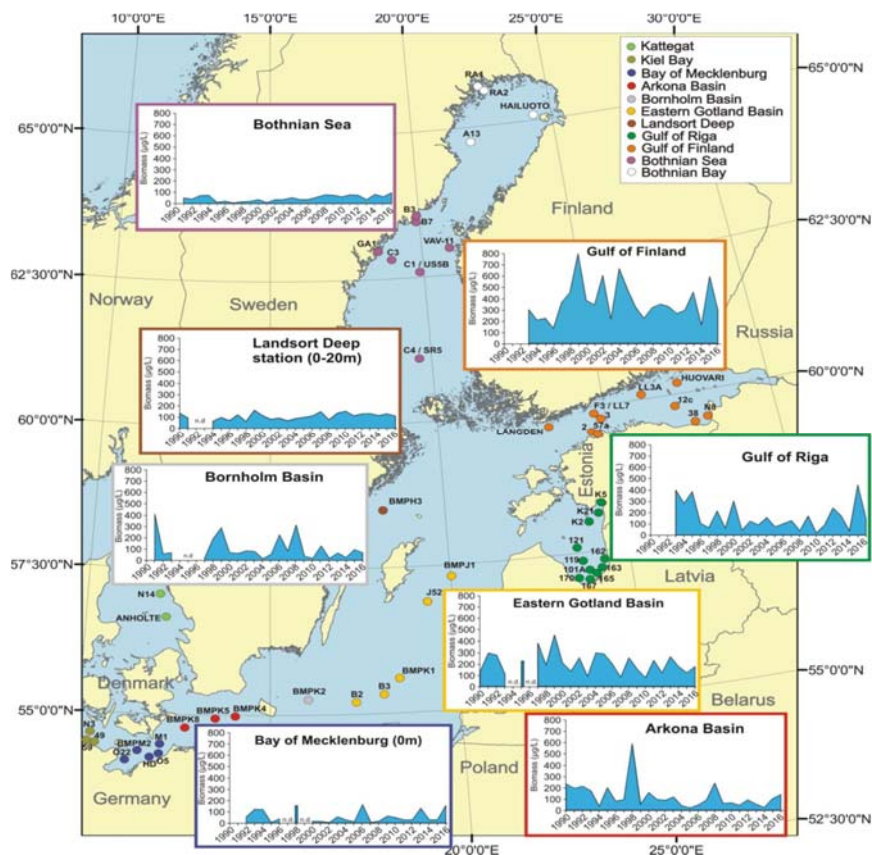
Der er anvendt data fra det danske NOVANA-program til at belyse udbredelsen af blågrønalger i Danmark samt til ved eksempler at belyse betydningen af forskellen i salinitet fra øst mod vest i de danske farvande for forekomsten af blågrønalger.

1.1 Blågrønalger - generelt

Blågrønalger, eller cyanobakterier, tilhører en gruppe af bakterier (prokaryote), der indeholder pigmentet klorofyl *a*. I modsætning til éncellede planktonalger (eukaryote) er prokaryoters klorofyl ikke koncentreret i specielle celleorganeller, 'kloroplaster', men derimod frit forekommende i cellens cytoplasma. Klorofyls hovedfunktion er at opsamle solens energi og omdanne energien til kemisk energi, som cellen anvender i cellens metabolisme. Blågrønalger indeholder ud over klorofyl en række medhjælpende pigmenter, der tilhøre en særlig pigmentgruppe, der betegnes phycocyanin, og som har et karakteristisk absorptionsspektrum, der kan bruge til fotometrisk identifikation af blågrønalger. Tilstedeværelsen af klorofyl *a*, som er det dominerende pigment, betyder, at blågrønalger oftest har en kraftig græsgrøn farve.

Alle alger er afhængige af næringsalte, hvor kvælstof og fosfor er de vigtigste. Det betyder, at såfremt det ene mangler, går væksten i stå. Ved høje næringsaltkoncentrationer opstår der masseforekomster af alger, hvilket er en af de mest betydende effekter af eutrofiering. Eutrofiering er drevet af et overskud af næringsstofferne kvælstof og fosfor i havet og udover forhøjede niveauer af algevækst, resulterer eutrofiering også i øget turbiditet, iltsvind når algerne synker til bunds samt ændringer i artssammensætningen i det samlede økosystem (HELCOM 2013).

Figur 1. Kort over overvågningsstationer i Østersøen. De indsatte kort viser sommergennemsnit i kvælstoffikserende blågrønaler vådvægt ($\mu\text{g L}^{-1}$) (Wasmund et al. 2018).



Blågrønaler er unikke ved at kunne optage kvælstof fra atmosfæren, hvilket eukaryote planktonalger ikke kan. Det betyder, at blågrønaler, i situationer hvor kvælstof er begrænset i forhold til fosfor, fortsat vil vokse, såfremt der er forfor til stede, hvorimod andre taksonomiske klasser af planktonalger ikke trives. Blågrønaler forekommer i vandsøjleens photiske zone, og deres geografiske udbredelse i kystnære farvande er typisk begrænset af saltholdighed og optræder typiske efter periode med høje temperaturer. Det betyder, at der åbnes et vindue i havområder med lavere saltholdigheder, hvor blågrønaler kan trives. Et eksempel er overfladevandet i Østersøen. Når forårsopblomstringen har reduceret tilstedeværelsen af kvælstof i forhold til fosfor i overfladen, optræder der typisk masseopblomstringer af blågrønaler. Dette ses som masseforekomster af blågrønalgarterne *Aphanizomenon flos-aqua* og *Nodularia spuminga* i sommermånederne, hvor høje temperaturer og høj solindstråling skaber ideelle livsbetingelser (Hällfors 2007).

Grænsen for hvornår forekomsten af blågrønaler kan betragtes som en algeopblomstring er i Østersøen fastsat til 200 VV $\mu\text{g L}^{-1}$ (VV: vådvægt) i Wasmund (1997).

Blågrønaler kan producere cyanotoksiner/microcystiner, hvis effekt i økosystemet kan være at reducere græsningsdødeligheden blandt blågrønaler. Begrebet cyanotoksiner/microcystiner dækker forskellige potente toksiner med varierende effekter på mennesker. Der kendes effekter på leveren (hepatotoksiner - microcystinerne), nervesystemet/det respiratoriske system (neurotoksinerne) og celleintegritet (cytotoksiner) (Pearson et al. 2010).

Der findes både giftige og ugiftige genotyper inden for samme art, der hver for sig klarer sig bedre eller dårligere afhængigt af koncentrationerne af fosfor

og kvælstof. Eksempelvis har et studie vist, at den giftige genotype af *Microcystis aeruginosa* klarede sig bedre end den ugiftige genotype af samme art under fosfor- og kvælstofbegrænset vækst (Suominen et al. 2017).

Det betyder, at forekomsten af blågrønner kan have negative effekter på økosystemet bl.a. ved at afkoble græsning fra deres predatorer i et ocean med lav salinitet, under stigende pres fra temperaturstigninger og øgende næringsstoffudledninger (Ger et al. 2014). Omfattende opblomstringer af blågrønner har derfor potentielt negativ indvirkning på de marine økosystemers kulstofkredsløb, biodiversitet samt den socioøkonomiske værdi.

1.2 Blågrønner i Østersøen – data fra fytoplanktontællinger, HELCOM

HELCOM Phytoplankton Expert Group (PEG) afrapporterer årligt data fra de forskellige nationale overvågningsprogrammer. Rapporten viser sommergennemsnittet (maj-september) af blågrønner på fytoplanktonstationerne i Østersøen, hvor også danske data for Bornholmer Dybet indgår sammen med tyske data (figur 1).

1.3 Blågrønner - fytoplanktontællinger, NOVANA

Blågrønner findes i de danske havområder og er en naturlig del af den marine flora. Figur 2 viser en del af stationerne, hvorfra der er optalt fytoplankton. Data er hentet fra NOVANA-databasen og inkluderer alle data siden 1990 og frem til 2016. Ved en del af stationerne er der data fra få år, mens der ved andre stationer er data fra hele perioden. Der er beregnet et periodegennemsnit (1990-2016) af sommermedianbiomassen (maj-september) af blågrønner for alle stationer. Stationer, hvor periodegennemsnittet overstiger 50 VV $\mu\text{g L}^{-1}$, er i figur 2 markeret med gult, og stationer, hvor periodegennemsnittet af blågrønner overstiger 500 VV $\mu\text{g L}^{-1}$, er vist med rødt. Øvrige stationer er vist med blå.

Tabel 1. Oversigt over blågrønnerbiomasse (VV $\mu\text{g L}^{-1}$) fra NOVANA-stationer, rangeret fra højeste til laveste gennemsnitlige sommermedianer (maj-september). Der er kun medtaget stationer med mindst tre års data.

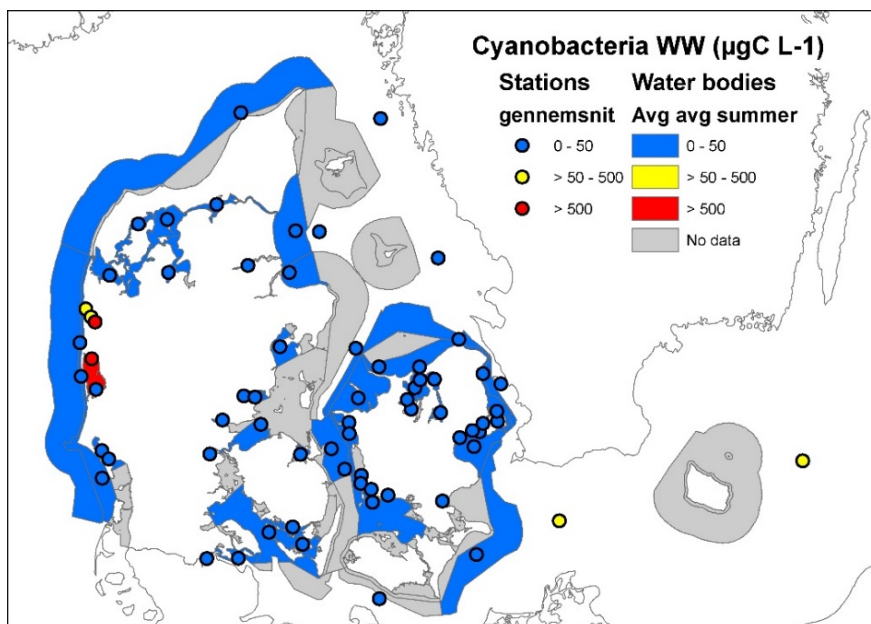
Station	Breddegrad (°N, WG84)	Længdegrad (°E, WG84)	Gennemsnitlig sommer-bio- masse (VV $\mu\text{g L}^{-1}$)	Største- mindste bio- masse (VV $\mu\text{g L}^{-1}$)	Start år - slut år	Salinitet	Antal år i NOVANA
1	56,08	8,22	2.489	0,10-19730	1992-2016	11,0	24
23	56,31	8,26	1.607	48,82-5499	1990-2003	2,5	14
22	56,34	8,21	219	0,41-1370	1998-2008	9,6	11
BMPK2	55,25	15,98	125	1,42-629,4	2001-2015	7,5	13
21	56,39	8,15	115	0,07-503,6	1990-1997	14,6	8
444	55,00	13,30	57	9,39-147,2	1991-1997	7,7	7
901032	54,82	12,39	41	26,28-57,40	1998-2000	8,1	3
6300043	55,00	10,16	23	0,45-362,5	1990-2016	15,2	23
6500062	54,92	10,52	11	0,13-32,72	1993-1997	13,8	3
43	55,97	8,11	8	0,09-30,11	1991-1997	29,6	7

Stationerne med meget høje koncentrationer af blågrønner ligger ved de delvist lukkede områder i Ringkøbing Fjord (station 1, tabel 1) og i Nissum Yderfjord, Nissum Mellemfjord og Nissum Inderfjord (station 21, 22 og 23, tabel 1). Det skal noteres, at disse områder ikke er relevante i forhold til at anvende

CyaBI indikatoren ved satellitbaseret fastsættelse af miljøtilstand, da disse områder har en vanddybde, der ikke tillader overvågning vha. satellit.

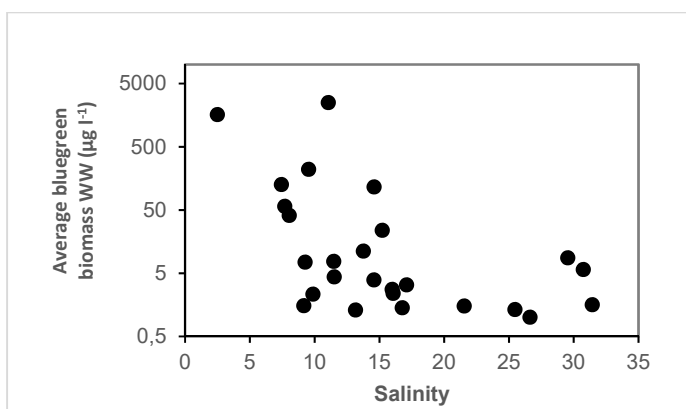
I de åbne områder, er der fundet periodegennemsnit mellem 50-500 VV $\mu\text{g L}^{-1}$ (figur 2) ved stationer i Arkonabassinet (station 444, tabel 1) og Bornholmer Dybet (station BMPK2, tabel 1).

Figur 2. Forekomsten af blågrønner i havområdet omkring Danmark. Data er indhentet fra NOVANA-databasen og omfatter alle stationer siden 1990-2016, hvor der er mindst tre års data. Værdierne er beregnet som sommergennemsnit (maj-september) af biomassen (VV $\mu\text{g L}^{-1}$) for hele perioden. Vandområder er farvet efter beregning af et gennemsnit af stationer, der findes inden for havområdet.



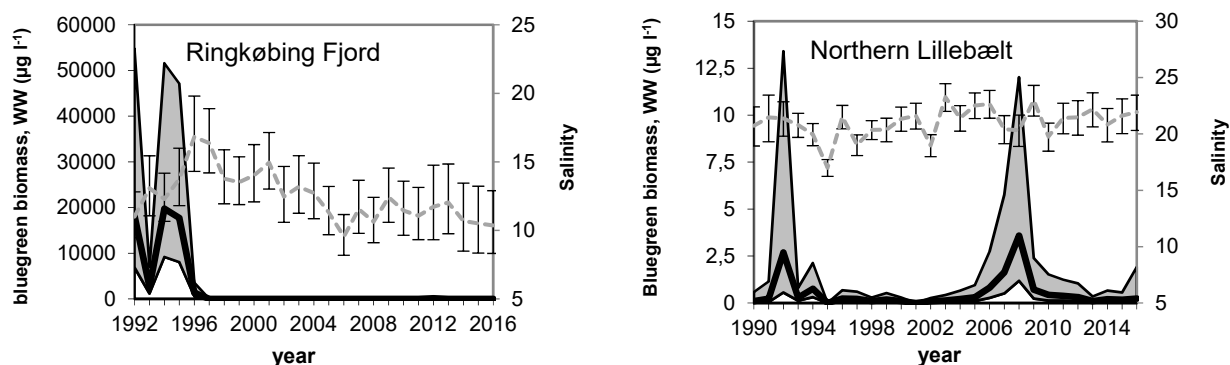
Effekten af saltholdigheden på forekomsten af blågrønner kan tydeligt ses, hvis sommerbiomassen afbildes som funktion af salinitet. Figur 3 viser, at der ved saliniteter² under ca. 15 kan forekomme blågrønner, og at saliniteten skal under ca. 11, førend der forekommer betydelige mængder af blågrønner (> 100 VV $\mu\text{g L}^{-1}$). Figur 3 viser derudover, at biomassen af blågrønner ved saliniteter > 15 er på et niveau, hvor det ikke har betydning. Det skal også noteres, at andre variable kan have betydning for udbredelsen af blågrønner, da der på de fleste stationer med saliniteter < 15 ikke nødvendigvis findes blågrønner i betydelige mængder.

Figur.2. Sammenhæng mellem salinitet og forekomsten af blågrønner, sommergennemsnittet (maj-september) af blågrønner og salinitet for stationer med mindst tre års sammenhængende målinger. Bemærk at biomasseaksen er på logskala.



² Salinitet bestemmes som elektrisk ledningsevne og omregnes derefter til salinitet. Derfor er det besluttet, at enheden er dimensionsløs (UNESCO 1985). Det skal bemærkes, at en salinitet på eksempelvis 15 svarer til en tilnærmet saltholdighed på 15 ‰. I den resterende del af notatet anvendes salinitet dimensionsløst.

Sommergennemsnittet af biomassen af blågrønalger varierer mellem årene på de enkelte stationer. *Figur 4* viser et interessant eksempel fra Ringkøbing Fjord (station 1, *tabel 1*), hvor ændret slusepraksis (Petersen et al. 2008) i årene efter 1996 medførte en stigning i saliniteten, der inducerede et regimeskifte i fjorden, som ultimativt fjernede blågrønalger. Det har betydet, at der fra 1997 og frem, blev fundet ubetydelige koncentrationer af blågrønalger. Et andet eksempel er det nordlige Lillebælt (*figur 4*). Stationen i det nordlige Lillebælt (6300043) har siden 1990 i perioder haft koncentrationer over > 10 VV $\mu\text{g L}^{-1}$, hvilket formentligt skyldes særlige forhold, så som lange perioder med vind fra øst, der flytter blågrønalgerne fra den østlige del af Østersøen ind i de indre danske farvande. Dette er sjældent, men skete tilsyneladende i 1992 og i 2008 (*figur 4*). Det skal bemærkes, at der på denne station (som på hovedparten af de danske NOVANA-stationer) aldrig er målt biomasser i størrelsesordener, der kan betegnes som algeopblomstringer (Wasmund 1997). Danske overvågningsstationer, der befinder sig i Østersøen, omfatter Arkonabassinet (station 444, *tabel 1*) og Bornholmer Dybet (station BMPK2, *tabel 1*), og disse er de eneste åbenvandsstationer, hvor der er observeret blågrønalger i betydelige mængder (> 200 VV $\mu\text{g L}^{-1}$).

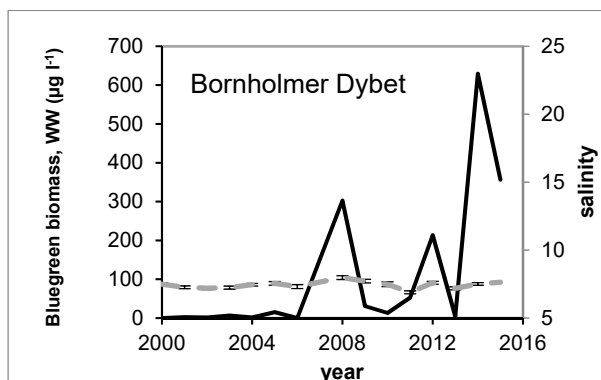


Figur 4. Gennemsnitlig sommermedianbiomasse af blågrønalger (VV $\mu\text{g L}^{-1}$) i Ringkøbing Fjord (station 1, *tabel 1*) og i det nordlige Lillebælt (station 6300043, *tabel 1*). Gråskraverede områder er største og mindste medianer og fuldt optrukne sorte linjer er gennemsnits sommermedianen. Stiplede linjer er salinitet \pm standardafvigelse.

Stationen ved Bornholmer Dybet monitoreres 6 gange om året, og der er indsamlet data siden 2001. Stationen i Arkonabassinet blev monitoreret mellem 1991 og 1997 og har ikke været med i overvågningen indtil for ganske nylig. Nyeste data fra Arkonabassinet har ikke være tilgængelige pga. igangværende arbejde med STOQ databasen.

Data for Bornholmer Dybet (*figur 5*) viser variationer i den gennemsnitlige sommermedianbiomasse (VV $\mu\text{g L}^{-1}$) og den gennemsnitlige salinitet siden 2001. Saliniteten har ligget jævnt omkring 7 gennem hele perioden med meget lave og næsten usynlige standardafvigelser på sommergennemsnittet, og der er derfor en åben niche på denne station for, at blågrønalger kan trives. Biomassens sommermedianværdi varierer fra meget lave værdier mellem 1,42 VV $\mu\text{g L}^{-1}$ til værdier over algeopblomstringsniveauer (*sensu* Wasmund 1997) på 629 VV $\mu\text{g L}^{-1}$.

Figur 5. Gennemsnitlig sommermedianbiomasse af blågrøn-alger ($\text{VV } \mu\text{g L}^{-1}$) ved Bornholmer Dybet (station BMPK2, tabel 1). Fuldt optrukket sort linje er gennemsnitsmedianen. Stiplet linje er salinitet \pm standardafvigelse.



Der er i vurderingen af anvendelse af satellitter ikke inddraget maksimale medianværdier, som i figur 4, på figur 5, da stationerne i Østersøen er karakteriseret af meget store variationer, der vanskeligt lader sig afbilde grafisk. Der gælder eksempelvis maksimalmedianer på op til $82.000 \text{ VV } \mu\text{g L}^{-1}$ i 2008. Det betyder, at de eneste stationer i det danske NOVANA-program, hvor der bestemmes koncentrationer af blågrøn-alger, der overstige niveauer, der kan betegnes som algeopblomstringer, er på stationen Bornholmer Dybet. Det betyder ikke, at der, især ved de østvendte danske kyster, i sommerperioden kan observeres store lokale sammenstuvninger af alger, der er ført ind til kysten, som følge af vedvarende vinde fra øst.

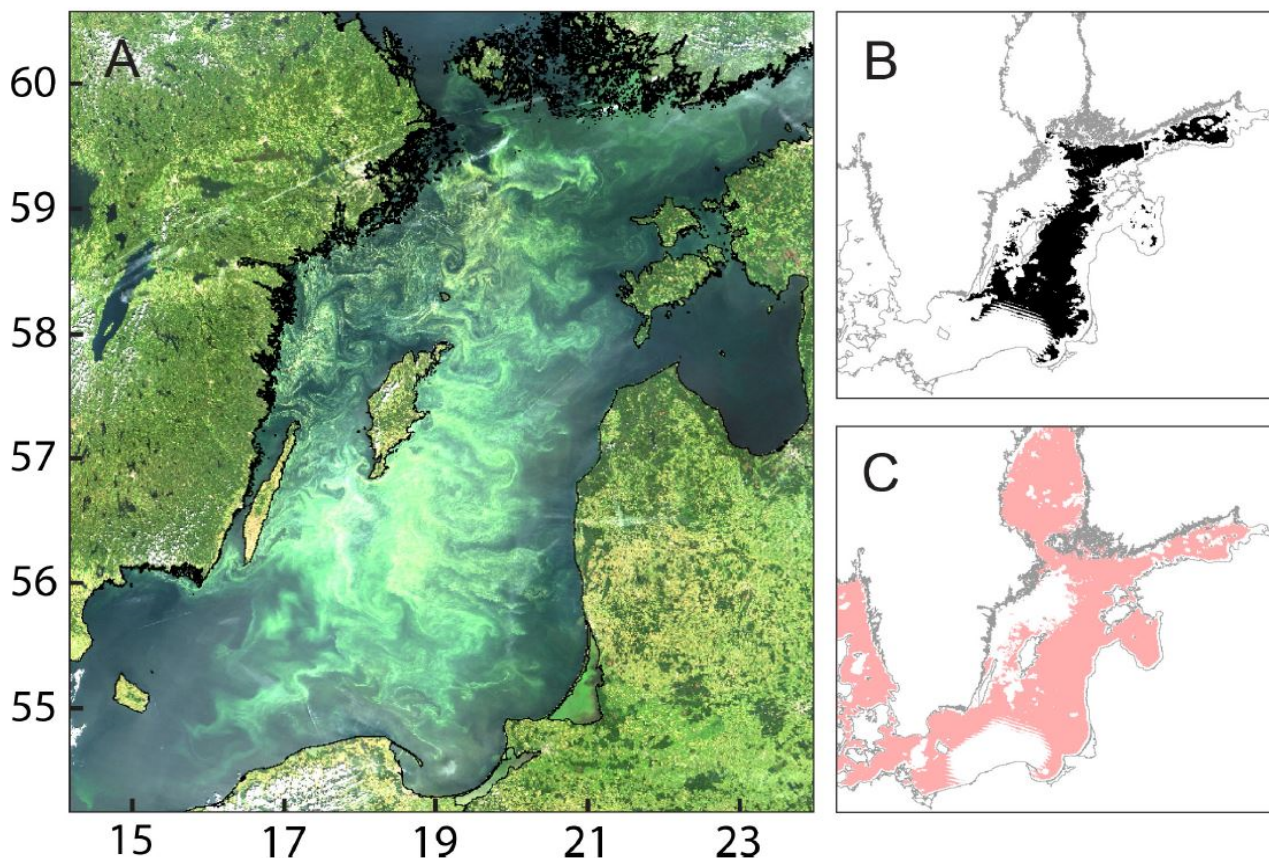
1.4 Anvendelse af satellitter i monitorering af blågrøn-alger

Anvendelse af satellitbaserede observationer til at bestemme blågrøn-algeforekomster rummer en række udfordringer. Eksempelvis er det en udfordring at etablere en tidsserie, der er tilstrækkelig lang til at fremstille data, der kan fastsætte eventuelle statistiske, troværdige ændringer over tid (Kahru & Elmgren 2014). Oftest vil dette kræve tidsserier af længder svarende til tre eller flere årtier. Dette vanskeliggøres ved at levetiden af de enkelte satellitter typisk kun tillader at følge udviklingen over tid i ca. 10 år. Længere tidsserier skal derfor konstrueres ved sammenlægning af adskillige tidsserier, indhentet med flere typer satellitter, der som oftest anvender forskellige sensorsystemer.

Satelliters observationsfelt er begrænset til havoverfladens øverste vertikale meter. Det betyder, at periodiske vindbegivenheder, der omrører vandsøjlen blander de blågrøn-alger, der måtte være akkumuleret i overfladen, ned i dybder, der ikke umiddelbart er synlige for satellitter.

I en undersøgelse af Kahru & Elmgren (2014) er det lykkedes at sammenlægge tidsserier fra adskillige satellitter og kalibrere de fundne værdier mod bl.a. data fra Ferrybox³. Dette har resulteret i en tidsserie, der sammenlagt dækker næsten fyre år. Igennem denne periode har forfatterne kunnet vise, at sommerforekomsten af blågrøn-alger er flyttet frem i tid med næsten tyve dage og er flyttet fra tidlig juli til omkring den 15. juni (2018).

³ En 'Ferryboks' er et måleinstrument, som opsættes i en fast installation på skibe i fast rutesejllads til bestemmelse af forskellige oceanografiske parametre, herunder klorofyl *a*. Typisk kan Ferryboksen udstyres med særlige sensorer, der tillader identifikation af blågrøn-alger på grundlag af tilstedeværelsen af phycocyanin.



Figur 6. A viser eksempel på satellitbestemt udbredelse af blågrønner i Østersøen efter Kahru & Elmgren (2014). B viser udbredelsen. C viser området, der kan undersøges med metoden.

Studiet af Kahru & Elmgren (2014) peger endvidere på, at den mellemårige variation i udbredelsen af blågrønner varierer stærkt og er som sådan ikke forskellig fra udbredelsesmønstrene for blågrønner i det danske NOVANA-program (figur 4). På trods af variationen mellem årene er der alligevel fundet signifikant øgede forekomster af blågrønner over tid vha. satellitobservationer (Kahru & Elmgren 2014).

Satellitter har begrænset anvendelse ved lave vandybder, da vegetationen på havbunden samt havvandets absorption og refleksion er anderledes tæt på kysten. Det betyder, at eksempelvis stationerne nr. 1, 21, 22 og 23 (figur 2), som alle ligger på meget lavt vand, ikke umiddelbart er egnede til satellitobservationer. Derimod er det relevant at anvendes satellitter til observationer af åbne havområder så som Arkonabassinet samt Bornholmer Dybet i monitoringen. Dertil danner sommerudbredelsen af blågrønner et karakteristisk mønster, som vanskeligt lader sig undersøge med punktmålinger, der rummer en stor risiko for at indsamle prøver fra områder med lokale lave forekomster af blågrønner. Dette problem undgås med satellitobservationer, som indsamler data fra hele Østersøen (figur 6).

Cyanobacteria bloom index (CSA) - overvågning med satellitter

Denne indikator tager udgangspunkt i et studie af Kahru & Elmgren (2014), og som er videreudviklet af Anttila et al. (2018) til brug som indikator. Indikatoren evaluerer forekomsten af blågrønner i overfladen i Østersøen ved brug af satellitobservationer. Indikatoren er baseret på den antagelse, at meget reflekterende, åbne havområder med en karakteristisk rumlig struktur i

perioden juli-august skyldes akkumuleringer af blågrønalger i havoverfladen (6A). Lag mærke til de mæandrerende lysegrønne mønstre, der dannes i overfladen, som skyldes aggregerede masseforekomster af blågrønalger. Det betyder, at der ved indsamling af planktonprøver stationsvist, som i det fortagne bl.a. i det danske NOVANA-program, er en betydelig risiko for, at der indsamles i områder med lokale høje eller lave biomasser forekomster (*figur 6A*), afhængig af om prøven indsamles indenfor eller udenfor de mæanderne mønstre (Finni et al. 2001).

Cyanobacteria bloom index indikatoren (CyaBI)

CyaBI-indikatoren anvender dataserien og metoden beskrevet af Kahru & Elmgren (2014) og bruger dataserien til at beregne CSA-indikatoren efter Anttila et al. (2018) i kombination med *Cyanobacteria Biomass Fact Sheet* udviklet af HELCOM PEG (Wasmund et al. 2018) (*figur 1*). Der beregnes en gennemsnitlig periodeværdi for CSA-indikatoren samt en gennemsnitlig periodeværdi baseret på *Cyanobacteria Biomass Fact Sheet* biomassen. En periode identificeres som en sammenhørende periode (mindst 5 år) med stabile sommer udbredelser af blågrønalger. Perioderne adskilles vha. en 'break-point-analyse' (Rodionov & Overland 2005; Rodionov 2004)⁴.

Referenceværdien(GES)⁵ er den vægtede middelværdi af periodeværdierne for CSA og *Cyanobacterie Biomass Fact Sheet* biomassen og angiver den periode med mindst udbredelse af blågrønalger inden for et givent bassin og anvendes efterfølgende som referencetilstand for god økologisk tilstand. Det betyder, at der mellem Østersøens forskellige bassiner ikke nødvendigvis vil være ens GES-værdier.

CyaBI består således af satellitobservationer vægtet mod faktiske observationer af forekomsten af blågrønalger i havoverfladens øverste 10 meter. Heri indgår danske data fra Bornholmer Dybet, men formodentligt vil også data fra Arkonabassinet indgå (station 444, *tabel 1*) fra 2019. Sommerperioden mellem 20. juni og 31. august er valgt som bedømmelsesperioden 2011-2015.

For at en biologisk parameter som CyaBI kan bruges som miljøindikator, skal den opfylde en række krav (HELCOM 2013; Anttila et al. 2018):

- Indikatoren skal opstille en tilstand for godt miljø, hvor den højest gennemsnitlige gode miljøtilstand kan bestemmes. Anttila m.fl (2018) argumenterer, at dataserien, identificeret af Kahru & Elmgren (2014) på fyrré år, antages at være tilstrækkelig til at fastsætte en referenceværdi.
- Parameteren skal knyttes direkte til miljømål. CyaBI kan forbindes direkte til miljømål, dvs. næringsstofbelastning (Anttila et al. 2018). Indikatoren indikerer eutrofiering i havområder forårsaget af næringsstofberigelse og kan anvendes til at demonstrere fosforbelastning. Når kvælstoffet er opbrugt af forårsopblomstringen, er der overskud af fosfor i store dele af Østersøen, der danner grundlag for vækst af blågrønalger gennem sommeren, idet blågrønalger udnytter deres fysiologiske tilpasning til at trække

⁴ Den beskrevne break point analyse er grundlæggende en trinvis t-test, der sammenligner målepunkter løbende og identificerer perioder, der er statistisk signifikante ens.

⁵ GES: good ecological status.

kvælstof ud af atmosfæren og derved udnytte sommerens overskud af fosfor. Fosforbelastning antages at være et antropogent fodaftryk, der driver indikatoren, da antropogene aktiviteter, så som landbrug og industri, er de primære bidragere til størstedelen af næringsstoffer til Østersøen.

- Metoden skal være videnskabeligt baseret. Anvendelse af satellitter til at bestemme næringsstoffaserede miljøændringer er mulig (Rodionov & Overland 2005; Rodionov 2004; Kahru & Elmgren 2014).
- Indikatoren skal differentiere rumligt. Satellitdata beskriver havoverfladen i stor rumlig og tidslig opløsning.
- Konfidensgrænserne for de opstillede miljømål skal kunne beskrives og bestemmes (Anonymous 2016).

Det betyder, at indikatoren generelt lever op til kravene fremsat af HELCOM (2013). Cyabi-indikatorens tidsserier tager udgangspunkt i perioden fra 1979 (Kahru & Elmgren 2014). I perioden før 1979 var næringsstoffbelastningerne i Østersøen allerede ganske høje med deraf følgende høje forekomster af blågrønner (Finni et al. 2001). *Derfor kan der rejses berettiget tvivl omkring fastsættelse af før industrielle referencetilstande.* Argumentet er som sådan ikke fagligt baseret, men fastsættet derimod en operationel reference der kan anvende i forhold til ændringer i forekomsten af blågrønner. Dette anerkendes og i stedet fastsættes en referenceværdi ud fra argumentet, at blågrønner er fast bestanddel af Østersøen økosystem, hvor referenceværdien tilnærmes dataserien af Kahru & Elmgren (2014), og sættes til perioden med den laveste forekomst af blågrønner.

Indikatoren gælder i farvande i alle lande, der grænser op til Østersøen (Anonymous 2016), men er i sin nuværende form ikke relevant i Kattegat, Storbælt, Øresund, Kiel Bugt eller i den Botniske Bugt (Anonymous 2017).

2. Konklusion og anbefaling

- CyABI-indikatoren er udviklet og varetages af SYKE (Finnish Environment Institute). Den er baseret på anvendelse af satellitobservationer, som kombineres med algetællinger af planktonprøver indhentet i de relevante områder. DCE anbefaler, at man er opmærksom på fortsat at sikre, at overvågningsfrekvensen i den danske del af Østersøen er tilstrækkelig.
- CyABI-indikatoren anvender solide, videnskabeligt veldokumenterede metoder, der er publiceret i den *peer reviewed* litteratur.
- Det er vigtigt at notere, at referenceværdien for CyABI-indikatoren ikke afspejler en upåvirket tilstand og at referenceværdien beregnet ud fra den angivne metode sandsynligvis vil ændre sig, som følge af mulige fremtidige næringsstoffreduktioner. Det er dog en pragmatisk, operationel og kvantificerbar grænseværdi.
- På grund af saliniteten i de danske farvande er denne indikator ikke relevant i de danske havområder med undtagelsen af Arkonabassinet samt Bornholmer Dybet.
- Danmark indhenter fytoplanktondata fra én overvågningsstation i hvert af de områder i Østersøen, der er relevant for Danmark, for fortsat at kunne levere de nødvendige måledata fra egne havområder, der indgår CyABI indikatoren.
- Anvendelsen af satellitter til monitorering er for nuværende begrænset af lave havdybder, og CyABI er således en åbenvandsindikator og kan derfor ikke anvendes i ret mange af de lavvandede, danske havområder, så som hovedparten af de danske fjorde samt i Limfjorden. Dertil er udbredelsen af blågrønalger minimal i de danske farvande, og indikatoren har således begrænset relevans i sin nuværende form for Danmark, udover de beskrevne dele af Østersøen.
- DCE finder, at det teknisk-videnskabelige grundlag for CyABI er tilstrækkeligt, og at metoden er veldokumenteret, men at den nuværende metode til beregning af referenceværdi ikke afspejler en upåvirket tilstand. Desuden er indikatoren kun relevant i den østligste del af Danmarks havområder. DCE anbefaler derfor, at Danmark ophæver sin '*study reservation*'.

3. Referenceliste

Anonymous (2016) Cyanobacterial Bloom Index (CyaBI) - core indicator proposal. 4J-5-Rev.1. HELCOM. Working Group on the State of the Environment and Nature. 18 pp.

Anonymous (2017) Cyanobacterial Bloom Index (CyaBI). HELCOM pre-core indicator report. Helsinki, HELCOM. 22 pp.

Anttila S, Fleming-Lehtinen V, Attila J, Junntila S, Alasalmi H, Hallfors H, Kervinen M, Koponen S (2018) A novel earth observation based ecological indicator for cyanobacterial blooms. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 64:145-155.

Finni T, Kononen K, Olsonen R and Wallstrom K (2001) The history of cyanobacterial blooms in the Baltic Sea. *Ambio* 30:172-178.

Ger KA, Hansson LA and Lurling M (2014) Understanding cyanobacteria-zooplankton interactions in a more eutrophic world. *Freshwater Biology* 59: 1783-1798.

HELCOM (2013) Helcom core indicators: Final report of the HELCOM CORE-SET project. Helsinki Commission. Baltic Sea Environment Proceedings No. 136.

Hällfors, S. ANNEX 6: Potential harmful phytoplankton of the Baltic Sea. ICES CM 2007/BCC:05, 1-51. 2007. Helsinki Finland, ICES. Report of the ICES-IOC-SCOR Working Group on GEOHAB Implementation in the Baltic (WGGIB).

Kahru M, Elmgren R (2014) Multidecadal time series of satellite-detected accumulations of cyanobacteria in the Baltic Sea. *Biogeosciences* 11:3619-3633.

Pearson L, Mihali T, Moffitt M, Kellmann R, Neilan B (2010) On the Chemistry, Toxicology and Genetics of the Cyanobacterial Toxins, Microcystin, Nodularin, Saxitoxin and Cylindrospermopsin. *Marine Drugs* 8:1650-1680.

Petersen JK, Hansen JW, Laursen MB, Clausen P, Carstensen J, Conley DJ (2008) Regime shift in a coastal marine ecosystem. *Ecological Applications* 18: 497-510.

Rodionov SN (2004) A sequential algorithm for testing climate regime shifts. *Geophysical Research Letters* 31:L09204.

Rodionov SN, Overland JE (2005) Application of a sequential regime shift detection method to the Bering Sea ecosystem. *ICES Journal of Marine Science* 62:328-332.

Suominen S, Brauer VS, Rantala-Ylinen Sivonen AK, Hiltunen T (2017) Competition between a toxic and a non-toxic *Microcystis* strain under constant and pulsed nitrogen and phosphorus supply. *Aquatic Ecology* 51:117-130.

UNESCO (1985) The International System of Units (SI) in Oceanography. UNESCO technical papers in marine science 45, IAPSO Pub. Sci. No. 32.

Wasmund N 1997. Occurrence of Cyanobacterial Blooms in the Baltic Sea in Relation to Environmental Conditions. *Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie* 82:169-184.

Wasmund N, Busch S, Göbel J, Gromisz S, Högländer H, Huseby S, Jaanus A, Jakobsen HH, Johansen M, Jurgensone I, Krasniewski W, Olenina I, Von Weber M. (2018) Cyanobacteria biomass 1990-2017. HELCOM Baltic Sea Environment Fact Sheet 2018.