

Miljøtilstanden i Lillebælt

Lillebælt er et komplekst og dynamisk vand-område med stor gennemstrømning af vand og næringsstoffer. I artiklen vil vi give en forståelse af udviklingen i miljøtilstanden siden 1980'erne, med henblik på at give en fundamentale viden til brug for de lokale aktiviteter som pågår for at forbedre tilstande i området.

TOBIAS BERTHEL BENDIXEN, MORTEN
HOLTEGAARD NIELSEN &
FLEMMING GERTZ

Data

Analysen af miljøtilstanden i Lillebælt er foretaget ved brug af data for næringsstoffer, planktonalger, ilt samt parametre som sigtdybde og ålegræs. Datagrundlaget bygger på NOVANA-data fra fire målestationer i hhv. det nordlige Lillebælt, Snævringen, Bredningen og det sydlige Lillebælt hentet fra Overfladevandsdatabasen (ODA). I denne artikel er der primært fokuseret på data fra målestation 95600002, Lillebælt Syd, som er placeret nord for Ærø.

Derudover er der anvendt modellerede data for næringsstofftilførslerne fra DCE og for vandtransporten modtaget af DHI til estimering af næringsstoftransporten over tærsklerne i hhv. Lillebælt Nord og Syd.

Hydrografi

Lillebælt er karakteriseret ved meget dynamiske hydrografiske forhold, som særligt gør sig gældende i og omkring Snævringen. Det smalle forløb i Snævringen fungerer som flaskehals, hvilket medfører kraftige strømme og opblanding af de øvre og nedre vandmasser, ved en så kaldt "intern hydraulisk kontrol". Dette bevirker, at næringsrigt bundvand bringes op i den øvre del af vandsøjlen (fotiske zone), hvorved fytoplanktonproduktionen øges /1,2/. Disse processer kan være med til at forklare, hvorfor klorofyllniveauer er væsentligt højere i sommermånederne i Snævringen og Bredningen sammenlignet med koncentrationerne ved stationerne i det nordlige og sydlige Lillebælt.

Iltsvind

Der forekommer årligt iltsvindhændelser i Lillebælt, hvilket især gør sig gældende i et relativt stort område i det sydlige Lillebælt, de sydøstjyske fjorde og Det Sydfynske Øhav /4/. I Snævringen og det nordlige Lillebælt registreres der også jævnlige iltsvind, men i langt mindre grad og med kortere varighed, hvilket sandsynligvis hænger sammen med de hyppige opblandinger af vandmasserne i og omkring Snævringen.

I Lillebælt Syd registreres der årligt længerevarende perioder med iltsvind i bundlaget fra juli til oktober og de senere år endog fra maj til november.

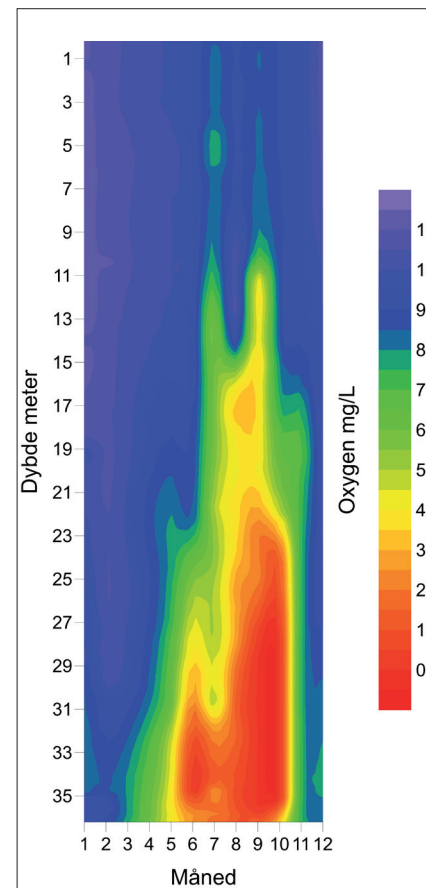
Iltsvindhændelserne breder sig typisk længere op i vandsøjlen under springlaget over sommeren/efteråret. De målte iltkoncentrationer for hele vandsøjlen i 2020, ses på Figur 1, hvilket desuden er meget lig gennemsnittet for 2011-2020. De store vanddybder og det store areal betyder i Lillebælt Syd, at der kan være markante vandvolumener, som er ramt iltsvind. Iltsvindene i Lillebælt kan desuden brede sig ind i de omkringliggende dybe fjorde f.eks. Flensborg Fjord og Aabenraa Fjord). Iltsvindene medfører en betydelig næringsstoffrigivelse af kvælstof og fosfor fra bunden, som derved kan drive en øget vækst af fytoplankton /5/.

Næringsstofftilførsler

Næringsstoftransporterne i Lillebælt er ganske markante som følge af de store vandvolumener, der passerer over renderne i den nordlige og sydlige del af Lillebælt. Af den grund udgør de samlede næringsstofftilførsler (TN og TP) fra det nære opland til Lillebælt og de tilstødende fjorde kun en mindre andel af de samlede transporter. Dette gælder især i sommermånederne, hvor afstrømningen fra

oplandet er lavest, mens de højeste tilførsler fra det nære opland ses i november-marts.

Transporterne over tværsnittene i Lillebælt nord og syd skal ses som grove estimeringer af de næringsstofmængder, der passerer igennem overflade- og bundlagene i Lillebælt. Estimeringerne er baseret på modellerede månedlige nettovandtransporter for 2019 fra DHI ganget med de gennemsnitlige TN- og TP-



Figur 1. Isopleth af iltkoncentrationen (mg/l) gennem hele vandsøjlen på baggrund af målingerne i 2020 ved målestation 95600002 i Lillebælt, syd.

koncentrationer for 2010-2020. Netto-vandtransporterne må vurderes at være et konservativt skøn, da de reelle summerede transporter (bruttotransport) vil være væsentligt større, men dog med risiko for dobbeltregning.

Udviklingen for miljøparametrene

Klorofyl

Koncentrationen af planktonalger (målt som klorofyl) er karakteriseret ved en forårs- og efterårsopblomstring og et relativt lavt niveau om sommeren. I marts ses der typisk den laveste sigtbarhed, hvilket følger tidspunktet for forårsopblomstringen af fytoplankton. Sigt dybden er herudover påvirket af suspenderet stof, der er opblandet i vandsøjlen, som følge af stærke strømme/turbulens, storme, bølger, klapning, bundskrab mv.

Det faldende næringsstofniveau har ført til et løbende fald i klorofyl om sommeren på to af stationerne i hhv. Lillebælt Nord og Bredningen. Klorofylkoncentrationen er generelt højere i Snævringen end i det øvrige Lillebælt, hvilket formodentligt skyldes den betragtelige opblanding af næringssalte fra bundvandet. I det sydlige Lillebælt ses stort set ikke noget fald i sommergennemsnittet for klorofyl hen over året, hvilket muligvis kan have sammenhæng med, at bundvandets indhold af næ-

ringsstoffer ikke er faldet samt at næringsstofniveauet her ligger på et højt niveau, som følge af frigivelse fra bunden ifm. iltsvind.

På flere af stationerne i Lillebælt ses det, at forårets klorofylmaksimum er steget på trods af et faldende næringsstofniveau og generelt er vinterens klorofylniveau ligeledes steget siden 90'erne (se Figur 3). Vintersigt dybden har dertil været aftagende de seneste 10-15 år til ca. samme niveau som i 1980'erne, hvilket må formodes begrundet i det stigende klorofylniveau om vinteren.

Årsagen til den stigende klorofylkoncentration kan der ikke redegøres for, men mulige forklaringer kan være ændringer i algesammensætningen, stigende vandtemperatur og næringsstoffrigivelse ifm. øget iltsvind siden 1980'erne.

Næringsstofindhold

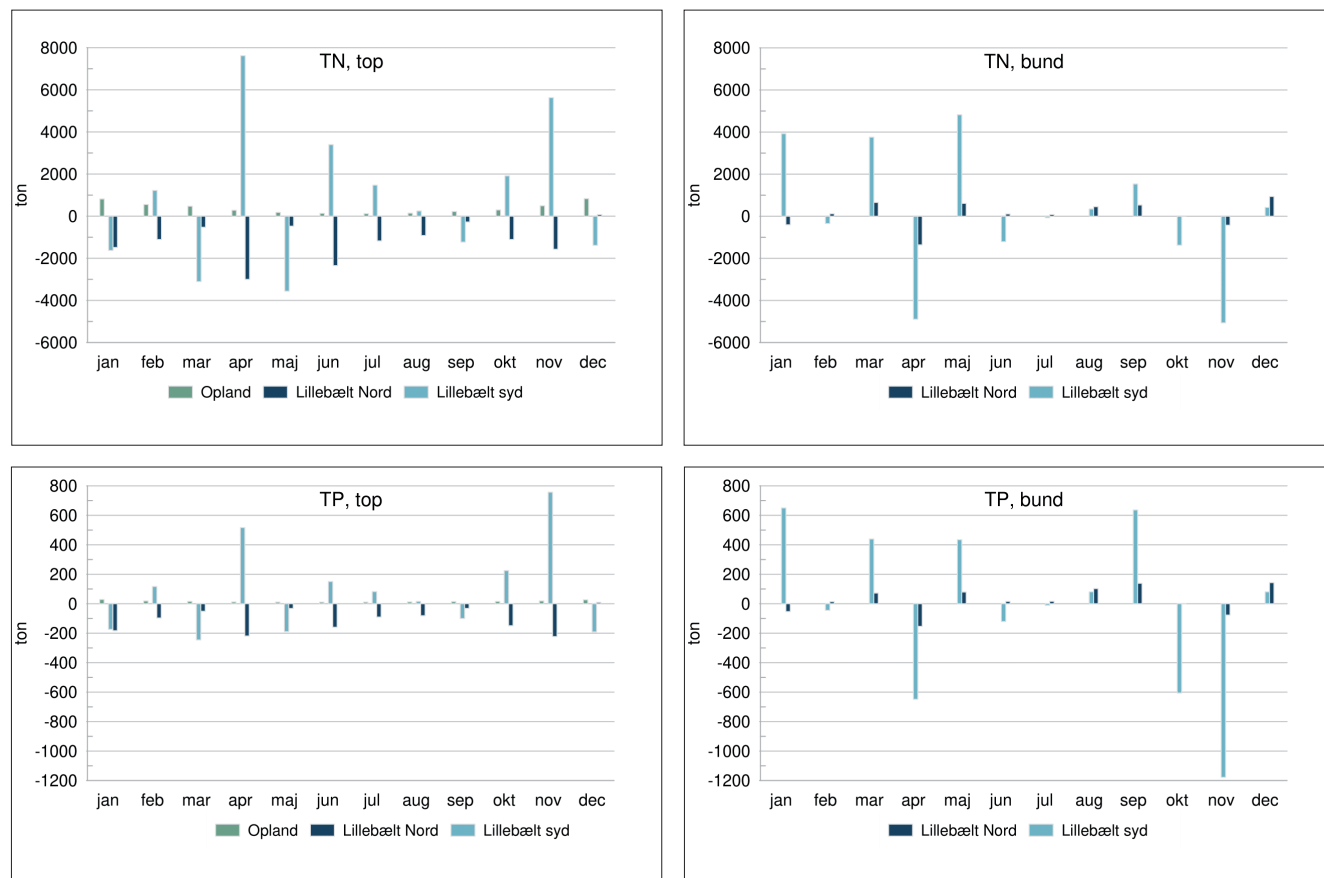
Indholdet af uorganisk kvælstof (DIN) i den øvre vandsøjle har generelt været faldende siden 1980'erne, men udviklingen ser ud til at være stagneret i de seneste to årtier. Udviklingen for orthofosfat har ligeledes været faldende siden 1980'erne, og især frem til midten af 1990'erne, hvorefter udviklingen også har været stagnerende (se Figur 4). Faldet i kvælstofindholdet har betydet, at kvælstof potentielt er blevet mere begrænsende for al-

gevæksten både om sommeren og om foråret. Orthofosfat er ligeledes blevet mere potentielt begrænsende for algevæksten, men kun i foråret, hvilket skyldes, at bundvandets indhold af orthofosfat hvert år øges betragteligt hen over sommeren, bl.a. som følge af iltsvind og i udpræget grad i det syd-lige Lillebælt.

Næringsstofindholdet i den øvre vandsøjle er typisk højere i den centrale del af Lillebælt sammenlignet med de øvrige delområder, som følge af opblandingen af det næringsrige bundvand i Snævringen. I sensommer- og efterårsmånederne er der et stigende niveau af både uorganisk kvælstof og orthofosfat i bundlaget som følge af næringsstoffrigivelse fra sedimentet i den forbindelse med iltsvind. Dette er meget udtalt i det sydlige Lillebælt, hvor der årligt optræder længerevarende iltsvindperioder.

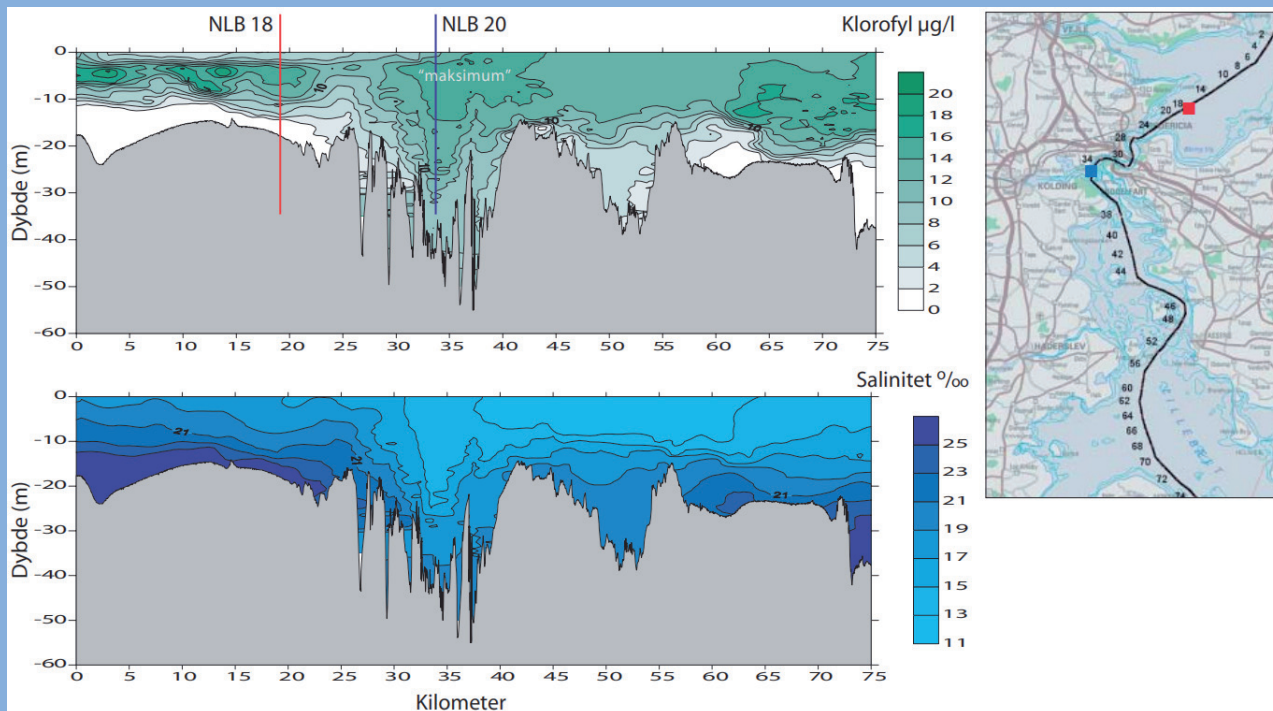
Næringsstoffbegrænsning

Både orthofosfat og især uorganisk kvælstof (DIN) er potentielt begrænsende det meste af vækstsæsonen i Lillebælt da overfladekoncentrationerne oftest ligger under tommelfingerreglen for de potentielle begrænsningsværdier for DIN og orthofosfat (hhv. 28 $\mu\text{g/l}$ og 6,2 $\mu\text{g/l}$) /6/. Dette fremgår af Figur 5, hvor det meste af begrænsningsperioden for orthofosfat overlapper med DIN (jf. rødbrun farve



Figur 2. Estimeret månedlige tilførsler (positive værdier) og fraførsler (negative værdier) af hhv. TN og TP i overflade- og bundvandet ved hhv. den nordlige og sydlige tærskel til Lillebælt samt tilførsler fra oplandet (til overfladevandet).

Boks 1. Salt- og klorofyl-profilmålinger samt kort af Lund-Hansen et al. (2005) /3/ fra sejlet rute ned gennem Lillebælt, som ses på kortet til højre. På kortet er der vist distancepunkter i km, som angiver x-aksen i diagrammerne for salinitet og klorofyl.



på Figur 5).

Kvælstof må dog vurderes at være den primære begrænsende faktor, da DIN:orthofosfat-forholdet i topmålingerne oftest er under Redfield-forholdet (7:1 på vægtbasis) jf. Figur 6, hvilket angiver det optimale vækstforhold for fytoplankton. I februar-april opstår der dog jævnligt DIN:orthofosfat-indhold på >7:1, hvor fosfor derfor bliver begrænsende faktor for planktonalgevæksten.

Ålegræs

Udviklingen for hovedudbredelsen af ålegræs

(*Zostera marina*), dvs. >10% arealdækning af havbunden har været stabil siden 2000 i Lillebælt Nord, Snævringen og Bredningen. I perioden 2011-2020 nået ud på ca. 2-5 meters dybde på de respektive transekter nord for Bredningen. I det sydlige Lillebælt (transekter ud for Als) har der derimod været en svagt faldende tendens og med væsentlig større årlige udsving i ålegræsdækningen, hvor hovedudbredelsen har nået ud på ca. 3-6 meters dybde. Ålegræssets dybdegrænse er derfor fortsat et stykke fra de respektive miljømål i Lillebælt nord og Lillebælt syd på henholdsvis

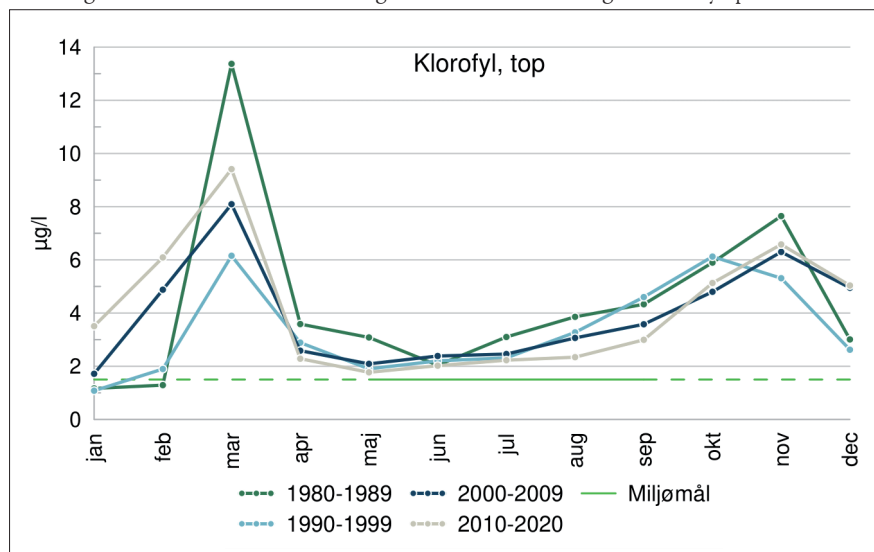
9,0 meter og 7,0 meter.

Sommersigtdybden er gået fra ca. 4-6 meter til 5-8 meter, og er derfor oftest mindre end miljømålet for dybdeudbredelsen af ålegræs, som er hhv. 9 meter og 7 meter i det nordlige og sydlige Lillebælt jf. Vandområdeplan 2015-2021. Dette indikerer, at sigtbarheden kan være med til at begrænse tilvæksten af ålegræs på de dybere områder. Sigtdybden er relativt konstant henover året og kun 1-2 meter højere i vintermånederne.

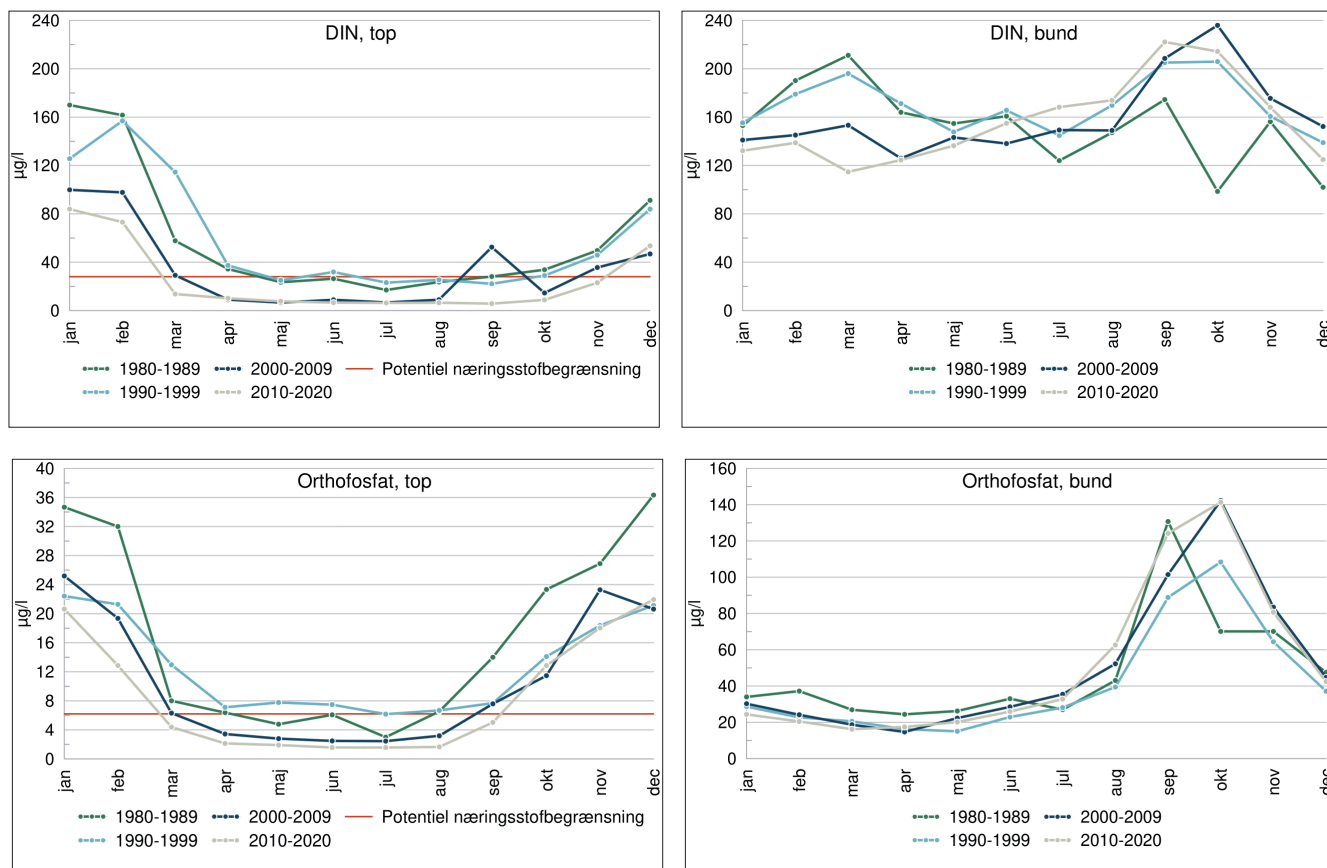
Diskussion

Lillebælt er et komplekst og dynamisk vandområde med stor vandgennemstrømning og næringsstoftransport. Vandområdets indsnævring medfører den ofte kraftige strøm og hyppige opblanding af vandsøjlen, hvorved næring fra bundlaget blandes op i den fotiske zone. Et større vidensgrundlag omkring vandtransporter vil være afgørende for at skelne mellem, hvor stor næringsstofpåvirkningen er fra det nære opland, den interne belastning fra sedimentpuljen og næringsstoffer som tilføres langvejs fra. Installering af permanente målestationer med hyppig prøvetagning ville forbedre datagrundlaget betydeligt. Dette ved at monitorere kontinuerligt og derved registrere kortvarige, men vigtige hændelser, som især kan bidrage til forståelsen af processerne i området.

Det er ligeledes vigtigt at være opmærksom på, at efterårets og vinterens tilførsler af næ-



Figur 3. Gennemsnit af klorofylkoncentrationen (µg/l) i topprøverne på månedsbasis for perioderne 1980-1989, 1990-1999, 2000-2009 og 2010-2020 ved st. 95600002 i Lillebælt, syd. Miljømålet for god/moderat økologisk tilstand er 1,5 µg/l for Lillebælt, syd.



Figur 4. Gennemsnit af hhv. DIN- og orthofosfat-koncentrationen ($\mu\text{g/l}$) i topprøverne (dybde $\leq 1,5$ meter) og i bundprøverne (dybde ≥ 30 meter) på månedsbasis for perioderne 1980-1989, 1990-1990, 2000-2009 og 2010-2020 ved st. 95600002 i Lillebælt, syd. Den potentielle næringsstofbegrænsning for hhv. DIN og orthofosfat er $28 \mu\text{g/l}$ og $6,2 \mu\text{g/l}$. Bemærk, differencerede y-akser ved sammenligning af orthofosfat top og bund (nederst).

ringsstoffer til Lillebælt, i vidt omfang er transporteret ud i de åbne vandområder (Kattegat, Østersøen og Skagerrak), når sommerens algevækst begynder. Reduktion af næringsstofudledningen fra det nære opland i sommerhalvåret, men i høj grad også fra det vand, som flyder til fra omkringliggende vandområder i sommermånedene er afgørende for miljøtilstanden. Det betyder, at planktonalgevæksten og iltsvind i den sydlige del ikke blot kan løses ved næringsstofreduktioner i det nære opland. Bundvandet i Kattegat, som tilstrømmer fra Nordsøen, har et estimeret bidrag på ca. 40.000 ton nitrat-N i sommerhalvåret til den fotske zone i Kattegat /5/, og det er derfor helt afgørende også at have et internationalt perspektiv i forhold til at mindske iltsvindsproblematikken.

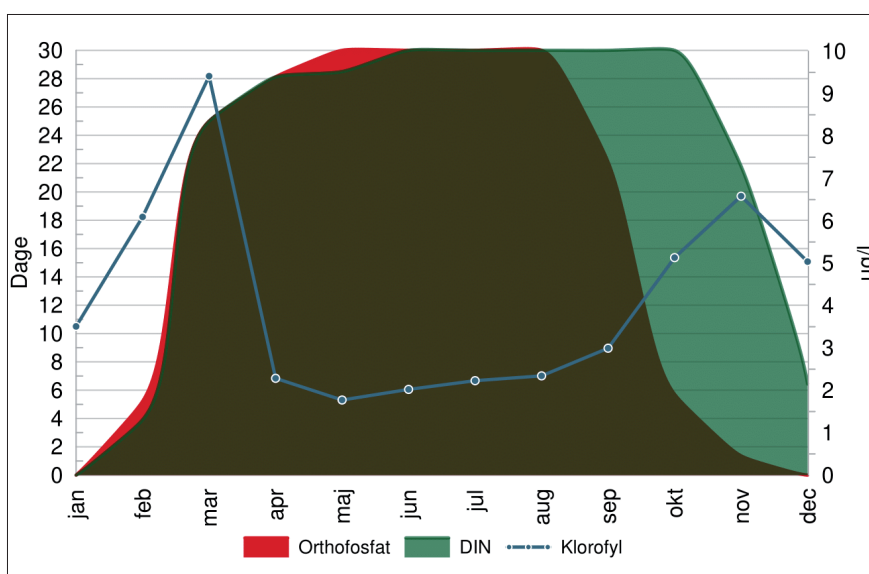
Ålegræssets dybdegrænse er flere meter mindre end dets potentiale i forhold til sommersigt dybden, hvilket kan skyldes presfaktorer som fiskeri med bundsløbende redskaber, udgravning, klapping mv. Især det sydlige Lillebælt er der vurderet at være høj redskabspåvirkning af havbunden som følge af fiskeri /7/. De forringede vækstbetingelser forstærkes desuden indirekte negativt af stigende havtemperaturer, storme og af epifyt-lag på åle-

græssets blade, der både i sig selv begrænser ålegræs væksten samt opsamler sediment /8/ & /9/.

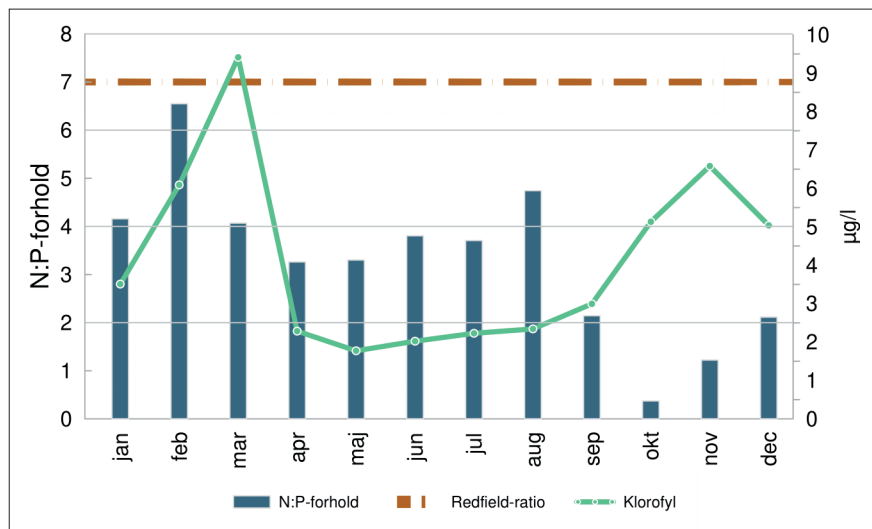
Dertil bør det undersøges nærmere, hvorvidt fiskeriet med bundskrabende redskaber skal ophøre eller ændres på lovgivningen,

således der ikke kan skræbes inden for den målsatte dybdegrænse for ålegræs. Igennem Naturpark Lillebælt forsøger man ved frivillig indsats at etablere zoner, hvor der ikke trawles.

Stigende havtemperaturer vil alt andet lige



Figur 5. Beregnet antal dage med fosfor- og kvælstof-begrænsning på månedsbasis som et gennemsnit af perioden 2011-2020 (Y-akse) og den gennemsnitlige koncentration af klorofyl ($\mu\text{g/l}$) på månedsbasis for perioden 2011-2020 (Z-akse) ved st. 95600002 i Lillebælt, syd på baggrund af data fra dybder $\leq 1,5$ meter.



Figur 6. N:P-forholdet (DIN:orthofosfat) på månedsbasis som et gennemsnit af perioden 2011-2020 (Y-akse) og den gennemsnitlige koncentration af klorofyl ($\mu\text{g/l}$) på månedsbasis for perioden 2011-2020 (Z-akse) ved st. 95600002 i Lillebælt, syd på baggrund af data fra dybder $\leq 1,5$ meter. Redfield-forholdet på vægtbasis (7:1) er angivet med stiplede linje.

forårsage øget vækst af fytoplankton samt øget organisk omsætning i bundlaget og dermed potentielt øget iltsvind. Størrelsesordenen af den organiske sediment- og næringspulje samt tilvæksten heraf er samtidig medbestemmende for graden af de fremtidige iltsvind og næringsstoffrigivelse i den forbindelse, hvilket må forventes at være en udfordring, især i det sydlige Lillebælt, i årene fremover.

Trods reduktion af næringsstofniveauet i Lillebælt har der været stigende klorofylindhold uden for sommermånederne. Marine virkemidler som muslingeopdræt, dyrkning af tang, udplantning af ålegræs og etablering af stenrev kan bidrage til forbedring af sigtgybden, kystsikring og habitat for makroalger, fisk og bunddyr. Det bør indledningsvist undersøges, hvor det er mest fordelagtigt at placere eventuelle virkemidler ift. sigtgybden, ilt-

svind, se-dimenttransport, spredningskorridorer mv., samt hvorvidt der kan opnås synergi-effekter ved kombination af f.eks. stenrev og ålegræs /10/.

Referencer

- /1/ Lund-Hansen & L.C., Vang, T. 2004. An inflow and intrusion event in the Little Belt at the North Sea-Baltic Sea transition and a related sub-surface bloom of *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 59(2): 265-276.
- /2/ Nielsen, M.H., Vang, T., & Lund-Hansen, L.C. 2017. Internal hydraulic control in the Little Belt, Denmark – observations of flow configurations and water mass formation. *Ocean Sci.*, 13: 1061–1075.
- /3/ Lund-Hansen, L.C., Nielsen, M.H., Bruhn, A., Christensen, K.R. 2005. Havets græsmark vokser ujævnt - om strøm og algevækst i Lillebælt. *Aktuel Naturvidenskab* 3: 15-18.
- /4/ DCE. 2021. Iltrapporter og iltsvindskort. DCE – Natio-

nalt Center for Miljø og Energi. Aarhus Universitet, Institut for Bioscience.

/5/ Hansen, J.L.S, Mohn, C. Hydrografi. I: Hansen J.W. & Høglund S. (red.) 2021. Ma-rine områder 2019. NOVANA. Aarhus Uni-versitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 174 s. - Videnskabelig rapport fra DCE nr. 418. <https://dce2.au.dk/pub/SR418.pdf>

/6/ Carstensen, J. 2021. Næringsstoffkoncentrationer. I: Hansen J.W. & Høglund S. (red.) 2021. Marine områder 2019. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 174 s. - Videnskabelig rapport fra DCE nr. 418. <https://dce2.au.dk/pub/SR418.pdf>

/7/ Petersen, J.K. 2021. Andre presfaktorer end næringsstoffer. *Vand & Jord* 28(3): 115-119.

/8/ Krause-Jensen, D., Duarte, C.M., Sand-Jensen, K. & Carstensen, J. 2020. Century-long records reveal shifting challenges to seagrass recovery. *Global Change Biology* 2020;00: 1–13.

/9/ Petersen, J.K., Brooks, M.E., Edelvang, K., Eigaard, O.R., Göke, C., Hansen, F.T., Kuhn, J., Mohn, C., Maar, M., Olsen, J., Pas-tor, A., Stæhr, P.A. & Svendsen, J.C. 2020. Andre presfaktorer end næringsstoffer og klimaforandringer – effekter af sted-specifikke presfaktorer på det marine kvalitetselement ålegræs. DTU Aqua-rapport nr. 361-2020. Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet. 49 pp.

/10/ Støttrup, J.G., Stenberg, C., Dinesen, G.E., Christensen, H.T. & Wieland, K. Sten-rev. Gennemgang af den biologiske og øko-logiske viden, der findes om stenrev og deres funktion i tempererede områder. DTU Aqua-rapport nr. 266-2013. Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet. 57pp.

TOBIAS BERTHEL BENDIXEN (tobn@seges.dk), konsulent, og FLEMMING GERTZ (fg@seges.dk), Chefkonsulent - begge ved SEGES, Agro Food Park 15, 8200 Aarhus N.

MORTEN HOLTEGAARD NIELSEN (mhn@msandc.dk), indehaver af Marine Science & Consulting ApS, Peder Lykkes Vej 8, 2300 København