Kvælstof- eller fosforbegrænsning i danske fjorde

I den nationale debat er det ret entydigt. Kvælstofreduktion er det, som skal til for at redde vandmiljøet i vores fjorde. Men helt så enkelt er det ikke, for der er en fosforbegrænsning om foråret i mange fjorde, som senere går over i en kvælstofbegrænsning hen over sommeren. Men hvordan har udviklingen været over tid? Vi har set nærmere på tre fjorde, som eksemplificerer, at hver fjord er sin egen.

Flemming Gertz, Line Kolding Thostrup & Sebastian Piet Zacho

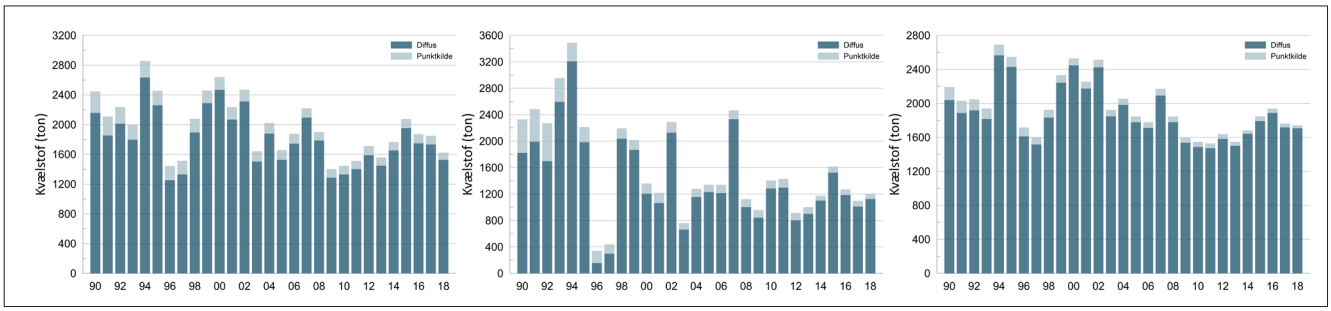
Den nationale debat om vandmiljøets tilstand trækker til tider overskrifter i aviser og tv. Fremstillingen er stort set altid, at vandmiljøets forbedring er ensbetydende med yderligere reduktion af kvælstof. Kvælstof er natur-ligvis en betydende faktor, men fosfors betydning for at reducere forårets opblomstring af alger er velbeskrevet for mange danske fjorde. Udviklingen i miljøtilstanden for danske fjorde har, siden amternes nedlæggelse i 2006, ikke været nem at følge. De årlige NOVANA rapporter fra Aarhus Universitet beskriver ikke de enkelte kystvandområders udvikling, men ser udviklingen med en national vinkel, og derfor er data for fjordene blevet midlet til landsgennemsnit. Hermed mistes de variationer, der er kendetegnende for hvert enkelt vandområde, og som måske netop er de variationer, der skal anvendes for at forstå udviklingen og dermed udvikle og implementere de mest hensigtsmæssige løsninger. I det følgende sammenlignes udviklingen i 3 danske fjorde; Skive Fjord og Hjarbæk Fjord ved Limfjorden samt Karrebæk Fjord på Sjælland med henblik på at vurdere betydningen af kvælstof og fosfor for begrænsning af algevæksten.

Vandområderne

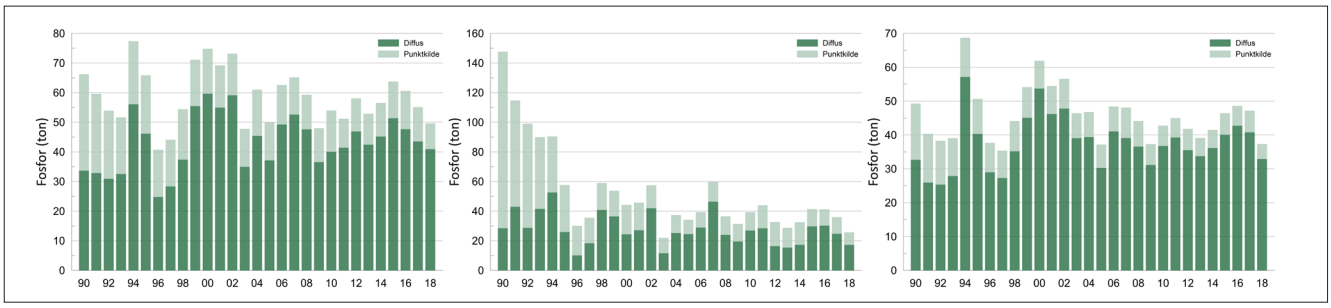
De 3 fjorde; Skive, Hjarbæk og Karrebæk er alle forskellige hvad angår størrelse, dybdeforhold, udveksling af vand med omkringliggende vandområde og tilførsel af ferskvand fra oplandene. Skive Fjord har den højeste saltholdighed på 20-30 ‰, mens Hjarbæk Fjord har en saltholdighed på 4-12 ‰ og op til 20 ‰ ved bunden. Karrebæk Fjord ligger typisk mellem 5 ‰ om vinteren og 10 ‰ om sommeren. Skive Fjord har den største vanddybde på 23 m, og der optræder ofte en lagdeling af vandsøjlen med mere salint bundvand. Dette fører om sommeren til hyppige iltsvind og i sådanne situationer, sker der en afgivelse af næringsstoffer fra sedimentet, som bidrager til algevæksten om sommeren. I Hjarbæk Fjord optræder der ligeledes ofte lagdeling i fjorden samt situationer med iltsvind og næringsstoffrigivelse fra bunden. Udvekslingen med vand til Lovns Bredning er kontrolleret af en sluse gennem en dæmning. Karrebæk Fjord er lavvandet, 2 meter i middel, og dermed også mere opblandet, hvorfor der er ikke samme risiko for iltsvind.

Data

Alle viste data stammer fra det nationale NOVANA overvågningsprogram under Miljøstyrelsen. Tilførslerne er opgjort af Aarhus



Figur 1. Årlig kvælstofbelastning i ton TN fra 1990 til 2018. a) Skive Fjord. b) Karrebæk Fjord. c) Hjarbæk Fjord. Opgjort af Aarhus Universitet, DCE på "farvand4 niveau". SEGES har summeret disse data til op-landsniveau



Figur 2. Årlig fosforbelastning i ton TP fra 1990 til 2018. a) Skive Fjord. b) Karrebæk Fjord. c) Hjarbæk Fjord. Opgjort af Aarhus Universitet, DCE på "farvand4 niveau". SEGES har summeret disse data til oplandsniveau

Universitet, DCE på "farvand4 niveau". SEGES har summeret disse data til oplandsniveau. Data for klorofyl og næringsstoffer er fra den nationale database ODA og prøvetagningen er sket i 1 meters dybde og præsenterer gennemsnitlige værdier præsenteret pr. måned i 10-års gennemsnit. For Skive Fjord er der data tilbage fra 1980'erne, hvilket også er tilfældet for Hjarbæk Fjord, dog med et hul i tidserien fra 2000-2010. For Karrebæk Fjord blev der først foretaget en repræsentativ monitering fra 2011.

Tilførsler af kvælstof og fosfor

Tilførslerne af kvælstof er for alle fjordene faldet siden 1990* (Fig 1). Størst er reduktionen for Karrebæk Fjord opland, hvor niveauet er faldet fra omkring 2400 ton TN/år til ca. 1000 ton TN/år. Mindre er reduktionen i de jyske oplande, hvor faldet for hhv. Skive Fjord og Hjarbæk Fjord er 2200 ton til 1800 ton TN/år og 2000 til 1800 ton TN/år. Det relativt store fald i Karrebæk Fjords opland skyldes dels spildevandsrensning, som kom senere i gang end i de jyske oplande og derfor har bidraget til reduktionen i starten af 1990'erne. Det større fald skyldes formentligt også, at miljøindsats på landbrugssiden er slået hurtigere og mere direkte igennem på de lerede og drænede jorde på Sjælland. Modsat oplandet til Karrebæk Fjord, er begge de jyske oplande grundvandsdominerede. Hvor Skive Fjords opland er domineret af sand med høj kvælstofretention i undergrunden og hvor hen ved 80% af det udvaskede kvælstof fjernes, så er oplandet til Hjarbæk Fjord delvist domineret af kalk og uden samme retention. Generelt betyder de mere grundvandsdominerede oplande, at indsatserne slår senere og muligvis mindre igennem i fjordene. Hvilket især er gældende for et kalkrigt opland, hvor kvælstoftransporten tager en længere og dybere transportvej gennem undergrunden.

Tilførslerne af fosfor til fjordene viser ikke helt den samme udvikling som for kvælstof (Fig. 2). For Karrebæk Fjords opland ses et markant fald fra op til 140 ton til 35 ton TP/år, som primært må tilskrives spildevandsrensningen i starten af 1990'erne. Tilsvarende fald ses ikke i de jyske oplande, hvor niveauerne for hhv. Skive Fjord og Hjarbæk Fjord på 50 TP/år og 40 TP/år er uden et tydeligt fald over perioden og på trods af et begrænset fald i bidraget fra spildevand, opvejes dette stort set af et tiltagende bidrag fra diffuse kilder. For de jyske oplande skete hovedparten af forbedringen i spildevandsrensningen i 1980'erne og indgår således ikke i denne opgørelse.

*Perioden 2007-2013 er under udredning for laboratoriefejl og er formentligt underestimeret /1/

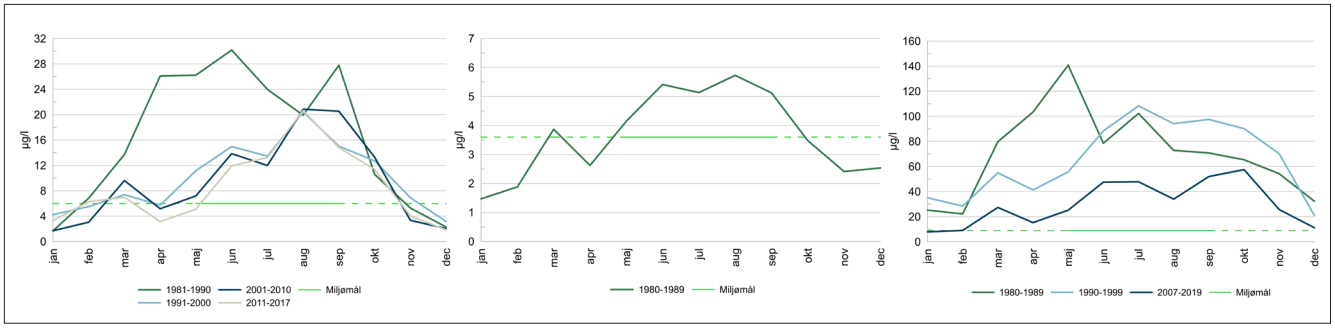
Udvikling i klorofyl

Klorofyl bliver anvendt som proxy for mængden af planktonalger, og der er for hvert vandområde fastsat et miljømål i vandområdeplanerne for perioden maj-september (fuld optrukket grøn linje). Det er for Skive, Karrebæk og Hjarbæk Fjorde hhv. 6 µg/l, 3,6 µg/l og 9 µg/l. Klorofyl har sit laveste niveau om vinteren, hvor mindre lys og lavere temperatur dæmper den biologiske aktivitet (Fig. 3). Tidligt forår og med stigende lysmængde og temperatur i februar og marts øges væksten og niveauet af klorofyl og hurtigt bliver væksten et spørgsmål om mængden af tilgængelighed af kvælstof og fosfor. I Skive Fjord kan der observeres en markant forbedring fra især 1980'erne til 90'erne, og en tiltagene forbedring i foråret, hvormed fjorden opnår god økologisk tilstand i april og maj måned i den sidste 10-års periode. Det lavere niveau om foråret kan ikke fastholdes, og klorofylniveauet stiger løbende hen over sommeren, indtil der sidst på sommeren nås samme niveau som i 1980'erne og 90'erne – dvs. et flere gange højere niveau end miljømålet. I Hjarbæk Fjord er der sket markante forbedringer fra meget høje klorofylniveauer på 80-140 µg/l til stadig meget høje niveauer på 40-60 µg/l og dermed langt fra miljømålet på 9 µg/l. Forbedringerne er sket både forår og sommer.

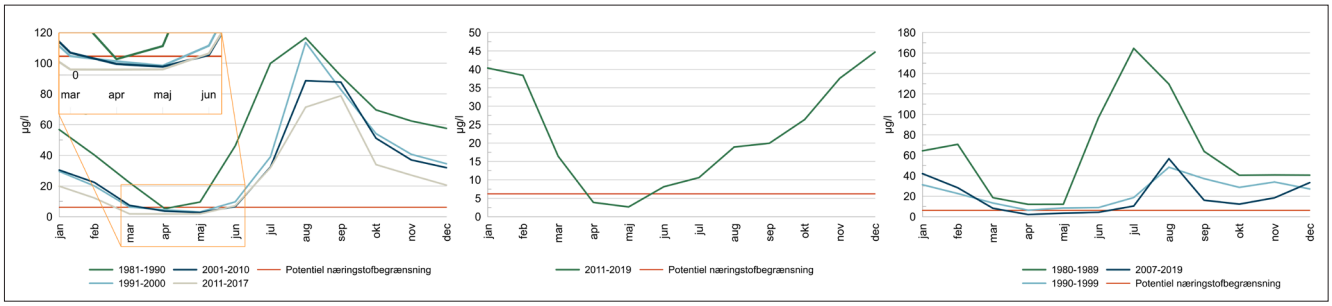
Karrebæk Fjord har de laveste niveauer af klorofyl med et 10-årsgennemsnit på under 6 µg/l, som ville have været tilstrækkeligt til at nå målet for de jyske fjorde, men ikke tilstrækkeligt lavt til at nå det specifikke miljø-mål på 3,6 µg/l for Karrebæk Fjord. Fjorden har dog i to år i perioden 2011-2019 nået målet om et sommer-middel under 3,6 µg/l /2/

Fosforbegrænsning

For alle tre fjorde ses en fosforbegrænsning af algevæksten i foråret (Fig. 4). Man anser et niveau af ortho-fosfat på 6,2 µg/l som en tommelfingerregel for, hvornår der indtræder



Figur 3. Klorofylkoncentration opgjort pr. måned i 10-års gennemsnit for a) Skive Fjord. b) Karrebæk Fjord. c) Hjarbæk Fjord



Figur 4. Koncentration af ortho-fosfat opgjort pr. måned i 10-års gennemsnit for a) Skive Fjord. b) Karrebæk Fjord. c) Hjarbæk Fjord

begrænsning /3/. Det tiltagende lavere niveau af klorofyl i Skive Fjord om foråret stemmer overens med en tiltagende fosforbegrænsning i fjorden, en begrænsning som i 1980'erne knap var til stede, men strækker sig fra marts-juni i den seneste 10-årsperiode. Omkring juni måned sker en markant stigning af fosforniveauet i Skive fjord. På dette tidspunkt begynder iltsvind at indtræde, og de stigende niveauer skyldes med stor sandsynlighed en frigivelse af fosfat fra bundsedimentet, hvilket har den uheldige konsekvens, at fosfor ikke kan fastholde en begrænsning af algevæksten. Over måleperioden er niveauerne af fosfat i Skive Fjord faldende. Dette gælder både koncen-trationer om vinteren, forår og sommer. Et tilsvarende mønster ses for Hjarbæk Fjord, hvor der også indtræder en fosforbegrænsning om foråret, der over årene er blevet længere og stærkere. Dog er klorofylniveauerne slet ikke i nærheden af målene og fosforbegrænsningen indtræder således ved markant højere alge-vækst. Vinterkoncentrationerne af fosfat, ser, i modsætning til Skive Fjord, ikke ud til at være faldet siden 1990'erne. I Karrebæk Fjord indtræder der også en fosforbegrænsning om foråret, men i modsætning til de to fjorde ved Limfjorden, ses der ikke en forhøjet sommerkoncentration af fosfat, og koncentrationerne stiger jævnt hen mod højeste niveau om vinteren. Fraværet af de forhøjede sommerkoncentrationer skyldes meget sandsynligt fraværet af iltsvindhændelser i fjorden. Stigningen i fosfatniveau fra omkring juni i Karrebæk Fjord sker, hvor kvælstofbegrænsning indtræffer.

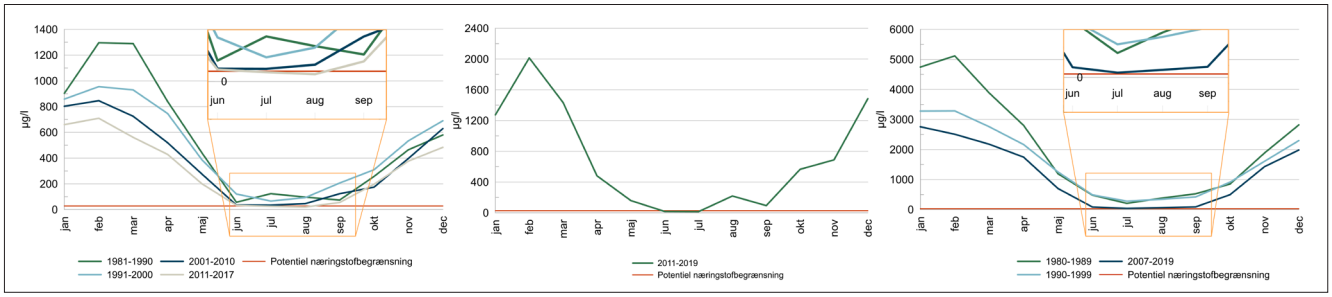
Kvælstofbegrænsning

Kvælstofbegrænsning af algevæksten begynder at indtræde omkring juni og juli for de tre fjorde (Fig. 5). Man anser et niveau af DIN (dissolved inorganic nitrogen) på 28 µg/l som en tommelfingerregel for, hvornår der indtræder begrænsning /3/.

For Skive Fjord er niveauet af DIN faldet i sommermånederne og er delvist begrænsende for væksten fra juni til september. Men i denne periode stiger klorofyl gradvist fra maj, hvor miljømålet er opfyldt til et niveau på op til 20 µg/l, svarende til niveauet i 1980'erne og 90'erne. Kvælstofbegrænsningen ser dermed ud til ikke at kunne fastholde et lavt klorofylniveau hen over sommeren og dette på trods af faldende kvælstoftilførsler. Årsagen hertil skal formodentligt findes i de årlige iltsvindshændelser, som ikke kun bidrager med fosforfrigivelse fra sedimentet, men også frigivelse af ammonium. Målte koncentrationer af DIN i bundvandet er såle-des ikke faldet i den målte 40-årige periode /4/ og bidrager højst sandsynligt med stadige tilførsler til øverste vandlag, hvor algevæksten primært sker. For Hjarbæk Fjord ses ligeledes faldende DIN-koncentrationer både sommer og vinter. Koncentrationen af DIN i sommermånederne er faldet fra niveauer over 200 µg/l til ofte under 28 µg/l. 10-års gennemsnittene af DIN er ikke under 28 µg/l grænsen, hvilket skyldes enkelte år i 10-årsperioden med meget høje niveauer. Bundlaget i Hjarbæk Fjord har, som Skive Fjord, betydelige forhøjede værdier af DIN og bidrager derfor også med vækst af klorofyl over sommeren via transport af DIN fra bundlaget til overfladelaget, og der ses således klorofylniveauer på 40-60 µg/l i disse måneder. I Karrebæk Fjord begrænser lave DIN-koncentrationer, fra juni måned og hen over sommeren, væksten af klorofyl. Det forhøjede niveau i august skyldes primært udsædvanligt høje værdier i 2011. Den meget nedbørsrige august i 2011 slog meget tydeligere igennem i det drænede opland til Karrebæk Fjord i forhold til de to jyske grundvandsdominerede oplande.

Økosystem betragtninger

For de to jyske fjorde, med tidsserier tilbage fra 1980'erne, er det tydeligt at faldende fosforniveauer har bidraget til fald i klorofyl allerede fra marts og frem til, at iltsvindene typisk begynder at indtræde i juni måned. I Skive Fjord ses et fald i fosfatkoncentrationerne både sommer og vinter, for hele den målte 40-årige periode. Dette er bemærkelsesværdigt, idet fosfortilførslerne jf. opgørelserne har været nogenlunde stabile siden starten af 1990'erne (Fig 2). Dette sætter spørgsmålstegn ved baggrunden for det fortsatte fald i fjorden, specielt for den sidste 10-års periode. Skyldes det, at tilførslerne reelt er faldet, men ikke målt og dermed ikke opgjort korrekt i belastningsopgørelserne? Alternativt kunne forklaringen på de støt faldende fosfatkoncentrationer i fjorden være, at sedimentet stadig aflaster fra tidligere tiders højere fosforbelastning. En lang "indsvingningstid" på mere end 10 år for marine sedimenter er i faglige sammenhænge blevet modargumenteret /5/. Forklaringen om, hvorvidt der er tale om en reduktion i fosfortilførslen eller en aflastning af sedimentet, er derfor uafklaret.



Figur 5. Koncentration af DIN (opløst uorganisk kvælstof) opgjort pr. måned i 10-års gennemsnit for a) Skive Fjord. b) Karrebæk Fjord. c) Hjarbæk Fjord

De årligt tilbagevendende iltsvind i Skive Fjord og Hjarbæk Fjord medfører en betydelig intern belastning. Det er bemærkelsesværdigt, at det i Skive Fjord betyder, at fjorden sidst på sommeren når klorofylniveauer som i 1980'erne, og dermed ikke er forbedret til trods for betydelige fald i nærringstoftilførslerne. Bund-vandsniveauerne af DIN har i Skive Fjord været høje og uændrede gennem 40-års perioden /3/ og en fortsat høj transport af kvælstof fra bundlaget til overfladelaget kan være en forklarende årsag.

Karrebæk Fjord har det klart laveste klorofylniveau af de tre fjorde. Dette kan forklares med en relativ hurtig vandudskiftning samt lavt ferskvandsbidrag om sommeren, i forhold til de to andre fjorde, som har længere opholdstid og forholdsvis højere ferskvandstilførsel om sommeren. Med andre ord så er sommerens alge-vækst i Karrebæk Fjord ikke i samme grad, som de to andre fjorde, påvirket af vinterens afstrømning /6/. Samtidig har Karrebæk Fjord ikke, i modsætning til de to jyske fjorde, samme grad af årlige tilbagevendende iltsvind, der bidrager med betydelig intern næringsstofbelastning.

Både Karrebæk Fjord og Hjarbæk Fjord er udprægede brakvandssystemer, og derfor er de i risiko for, at der kan optræde blågrønalger, men da de to fjorde ikke moniteres for planteplankton, kan det ikke fastslås, hvorvidt dette er tilfældet. Men på luftfoto fra 2014 /7/ af Hjarbæk Fjord, er der meget klare tegn på omfat-tende dominans af blågrønalger. Blågrønalger kan være giftige og kan fiksere kvælstof fra atmosfæren. For sådanne systemer er der al grund til at prioritere fortsat fosforreduktion for at mindske risikoen for blågrønalger, og man bør desuden overveje at inkludere planteplankton i NOVANA moniteringen.

Konklusion

Omkring 30-40 års kvælstof- og fosforindsats har ført til reduktioner af klorofyl i tre forskellige fjordsystemer. I alle tre fjordsystemer er forårets algeopblomstring fosforbegrænset. Perioden med fosforbegrænsningen er forlænget og styrket, og starter nu i marts og fortsætter frem til maj, juni eller juli, afhængig af fjord. Samtidig ses variationer fra år til år. Kvælstofbegrænsning optræder fra juni og gennem sommeren i varierende styrke. Fosfor- og kvælstofbegrænsningen holder opblomstringen af alger i Karrebæk Fjord på et relativt lavt niveau, og fjorden har opnået målet om god økologisk tilstand for klorofyl i to år siden 2011. Fortsat forbedring af tilstanden peger mod fortsat reduktion i fosfor og en tidslig målrettet kvælstofreduktion i sommerhalv-året.

De årligt tilbagevendende iltsvind bidrager til betydelig intern næringsstofbelastning i Skive Fjord og Hjarbæk Fjord, hvilket har afgørende negativ betydning for tilstanden i begge fjorde. Skive Fjord har, inden iltsvindene begynder i juni måned, opnået miljømålet for klorofyl i april og maj, som følge af fosforbegrænsning. Lagdelingen og dermed iltsvind kan næppe undgås i Skive Fjord grundet de hydrografiske og klimatiske forhold. Det betyder, at på trods af de betydelige reduktioner af kvælstof og fosfor tyder meget på, at det fortsat har lange udsigter for, at fjorden kan opnå de ønskede mål. Forbedringer gennem de sidste 30 år sker meget langsomt og ses primært mest i foråret, hvor der er fosforbegrænsning. I Hjarbæk Fjord er niveauet af alger stadig meget højt til trods for, at der er sket forbedringer. Vandudvekslingen kontrolleres med en sluse, og det bør overvejes om en mere optimal slusestyring kan føre til mindre iltsvind. Både fosfor og kvælstof har begrænset algevæksten, men risikoen for opblomstring af blågrønalger bør indgå i en fremadrettet indsatsstrategi, hvor fokus på fosfor er central.

Referencer

/1/ Thodsen, H., Tornbjerg, H., Rasmussen, J.J., Bøgestrand, J., Larsen, S.E., Ovesen, N.B., Blicher-Mathiesen, G., Kjeldgaard, A. & Windolf, J. 2019. Vandløb 2018. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 72 s. Videnskabelig rapport nr. 353 http://dce2.au.dk/pub/SR353.pdf

/2/ Gertz, F., Thostrup, L.K., Zacho, S.P., 2019. Miljøtilstand i Karrebæk Fjord. Rapport fra SEGES, 23 s.

/3/ Hansen J.W. & Høgslund S. (red.) 2019. Marine områder 2018. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE –Nationalt Center for Miljø og Energi, 156 s. Videnskabelig rapport fra DCE nr. 355. http://dce2.au.dk/pub/SR355.pdf

/4/ Gertz, F., Thostrup, L.K., Zacho, S.P., Jensen, M.L., Piil, K., 2018. Miljøtilstand i Skive Fjord, Lovns Bred-ning og Risgårde. Rapport fra SEGES, 58 s. Rapport fra SEGES

/5/ Henning Jensen, Syddansk Universitet, Personlig kommentar.

/6/ Jesper Goodley Dannisøe project manager. Anders Chr. Erichsen Quality supervisor, Optimisation of the Nitrogen Loadings to Karrebæk Fjord - Seasonal Effects from Nitrogen Reductions. 93 s. 2017. Rapport fra DHI udført for SEGES

/7/ Danmarks Arealinformation. Ortofotos (DDO®land) 2014. https://arealinformation.miljoeportal.dk/

Flemming Gertz (flg@seges.dk) er Chefkonsulent, Line Kolding Thostrup er Miljøkonsulent, og Sebastian Piet Zacho er Konsulent. Alle er ansat ved SEGES, Agro Food Park, Aarhus.