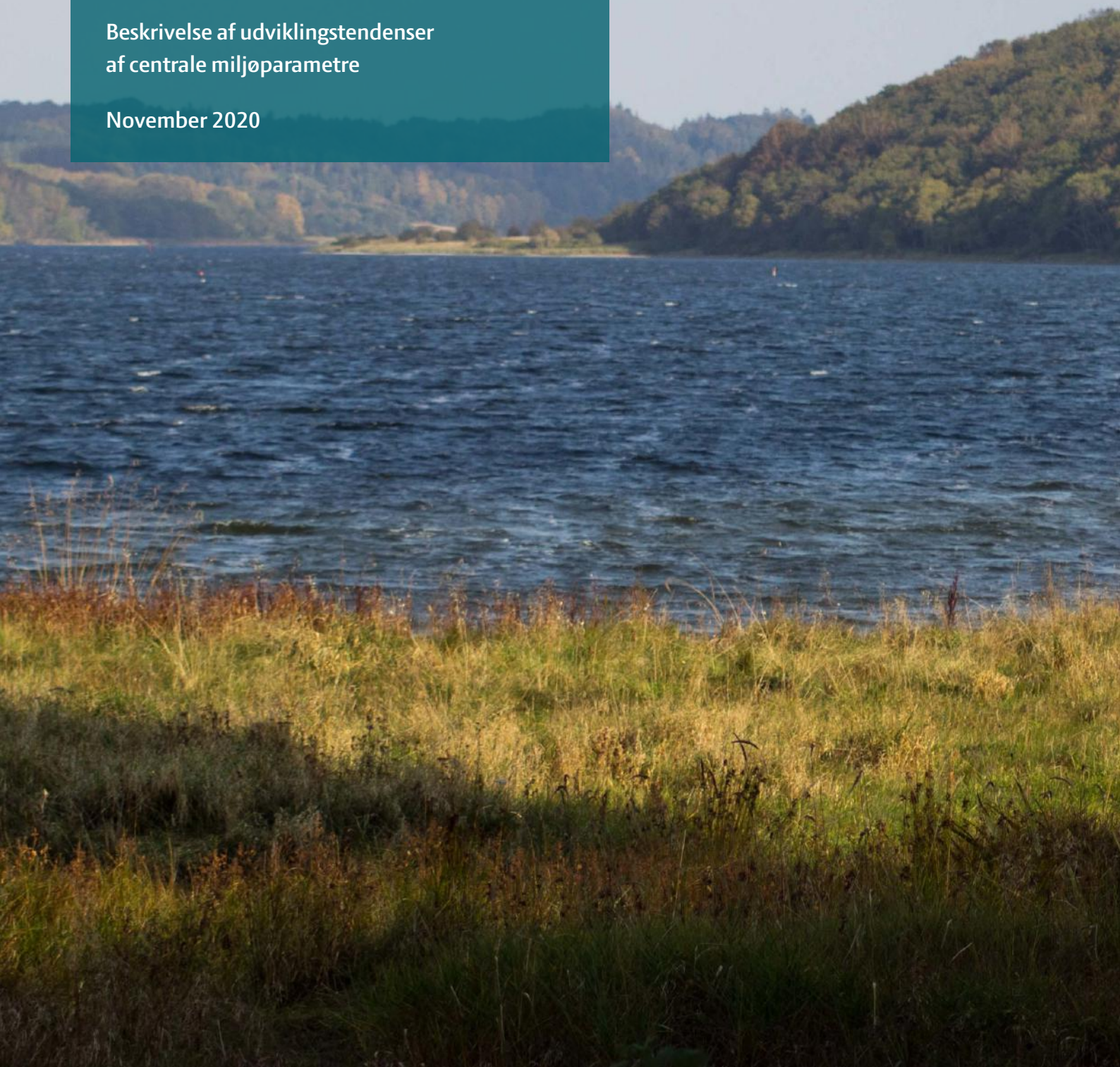


MILJØTILSTANDEN I MARIAGER FJORD

Beskrivelse af udviklingstendenser
af centrale miljøparametre

November 2020



MILJØTILSTANDEN I MARIAGER FJORD

Er udgivet af

Landbrug og Fødevarer F.m.b.A.

SEGES

Agro Food Park 15

8200 Aarhus N

+45 87 40 5000

seges.dk

UDARBEJDET AF

Plante- og Miljøinnovation, SEGES

REDAKTØR

Flemming Gertz, Chefkonsulent

FORFATTERE

Flemming Gertz, Chefkonsulent

Tobias Berthel Bendixen, Konsulent

Sebastian Piet Zacho, Konsulent

FORSIDEFOTO

COLOURBOX

FINANSIERET AF

Promilleafgiftsfonden



STØTTET AF

Promilleafgiftsfonden for landbrug

SAMMENFATNING

Mariager Fjord har en meget karakteristisk udformning ved at være en tærskelfjord med et langt smalt forløb og både et meget dybt lagdelt område i Inderfjorden, som stort set er iltfrit hele året, samt et lavvandet område i Yderfjorden. Fjordens morfologi og dens relativt store oplandsareal skaber et meget sårbart vandmiljø som konsekvens af næringsstofftilførsel, intern næringsstofbelastning og ringe vandudskiftning. Efterårs- og vinterafstrømningen af næringsalte fra oplandet, samt opblanding af den interne næringsstofpulje bidrager i hele sommerhalvåret til en stor algeproduktion. Det høje indhold af planktonalger i Inderfjorden medfører en eutrof tilstand, som ikke er mærkbart forbedret i hele måleperioden siden 1980'erne. I Yderfjorden er fladerne kraftigt påvirket af store vækster af søsalat der har en meget negativ påvirkning på havgræsserne.

Miljøtilstanden i den indre del af Mariager Fjord har ikke ændret sig væsentligt, når man vurderer det ud fra data for planktonalgeindholdet (klorofylkoncentrationen) og sigtddybde som korrelerer med algemængden. Der findes dog kun data tilbage fra 2002 for klorofyl, fordi der er fundet fejl i ældre data, men målinger af sigtddybde viser, at fjorden ikke er forbedret siden 1980'erne. Tværtimod havde man en årrække omkring 1990'erne en sommersigtddybde på 3-4 m mens den i de sidste 2 årtider hovedsageligt har ligget på 2-3 m. Vintersigtddybden er samtidig 6-8 m og viser derfor tydeligt, at fjorden er meget påvirket af algevæksten i sommerhalvåret. Miljømålet er en sommerklorofylkoncentration på 6,0 µg/L (VP2), hvilket ligger langt fra det nuværende niveau på ca. 20-35 µg/L. Der er dog sket et markant fald i fosforkoncentrationen siden 80'erne, hvilket i høj grad skyldes forbedringen af renseanlæggene, men udviklingen ser ud til at være stagneret i de seneste to årtier, men det betyder at fosfat er potentielt begrænsende for væksten over springlaget i 4 måneder april til juli. Indholdet af uorganisk kvælstof er kun reduceret i begrænset omfang i den målte periode og er langt fra at være begrænsende for algevæksten. Næringsstofniveauet i bundlaget er, både for kvælstof og fosfor, langt over det begrænsende niveau. Det må antages, at der sker en oprivning af bundvandet til overlaget gennem sommeren, som betyder at der konstant tilføres næringsrigt vand fra bundlaget op i den fotiske zone til algevækst. Dette forklarer bl.a., hvorfor fjorden ikke har fået en forbedring i tilstanden især i foråret, hvor fosfat i det øvre lag er potentielt begrænsende i flere måneder. Miljømålet for ålegræssets hovedudbredelse er henholdsvis 3,1 meter for Inderfjorden og 3,6 meter for Yderfjorden. I Inderfjorden har den nuværende hovedudbredelse været uændret på omkring 1,0-1,2 meter, mens den maksimale ålegræsudbredelse er gået tilbage. I den yderste del af fjorden er både hovedudbredelsen og den maksimale dybdeudbredelse af ålegræs gået markant frem til det nuværende niveau på ca. 2,2 meter. Der er derfor fortsat et stykke op til miljømålene, som er begrænset af planktonalgevækstens påvirkning af sommersigtddybden.

Anbefalinger

Det anbefales at der udvikles en samlet strategi for fjorden og opland baseret på de karakteristiske forhold som gælder for oplandet og fjorden. Denne analyse peger på, at man bør have fokus på fosfor, som primær næringsstof til at forbedre tilstanden i fjorden. Dette er allerede end for flertallet af andre danske fjorde, hvor kvælstof spiller en helt allerede vigtig rolle i forhold til at begrænse algeproduktionen. Dels bør man have fokus på fosforkilder i oplandet, men også på den interne næringsstofpulje under springlaget, da den udgør en markant belastningskilde gennem sommerhalvåret. Aluminiumtilsætning til bundsedimentet eller iltning af bundlaget evt i kombination med tilsætning af jern er mulige virkemidler man bør undersøge med henblik på at fjerne den interne fosforpulje. Disse virkemidler virker med det samme uden tidsforsinkelse og der vil potentielt kunne opnås betydelige forbedringer. Muslingedyrkning på line vil også kunne være et virkemiddel, men der mangler en undersøgelse af effekten for hele økosystemet ved brug af dette virkemiddel. Idet der kan være potentielt negative effekter i form af øget recirkulation af næringsstoffer og øget næringsstofftransport til yderfjorde, som vil kunne give anledning til øget vækst af søsalat. I Yderfjorden vil optagning af søsalat evt. kombineret med ålegræsudplantning være et muligt virkemiddel med henblik på at forbedre levevilkårene for bl.a. de lysbugede knortegæs, som kræver en særlig beskyttelse jf. EU's beskyttelsesdirektiver.

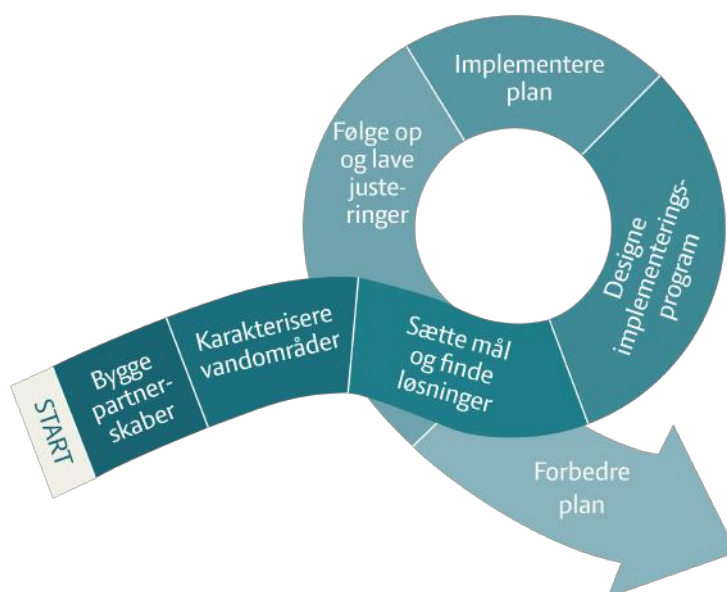
INDHOLDSFORTEGNELSE

1	INDLEDNING	7
2	BESKRIVELSE AF DATA	9
2.1	Målestationer	9
2.2	Databehandling	9
2.3	Prøvetagningsfrekvens	11
3	TILSTANDSBESKRIVELSE	13
3.1	Hydrografi	13
3.2	Salinitet	13
3.3	Iltkoncentration	14
3.4	Sigtdybde	16
3.5	Klorofyl	16
3.6	Kvælstof	17
3.7	Fosfor	18
3.8	Næringsstofbegrænsning	18
3.9	Vegetation	19
3.10	Vindhændelser	20
4	DISKUSSION	23
5	REFERENCER	25

I denne rapport belyses udviklingen i koncentrationen af næringsstoffer, klorofyl og ilt samt parametre som sigtdybde, vegetation i Mariager Fjord fra 1980'erne frem til nu. Rapportens formål er at demonstrere vigtigheden i at behandle og analysere data på kystvandsniveau, og dermed opnå en mere detaljeret systemforståelse af Mariager Fjord samt udviklingen gennem årene. Rapporten skal danne grundlag for en mere dybdegående indsigt i fjordens miljøtilstand og give interessenter mulighed for at kunne medvirke i de videre drøftelser. Den opnåede forståelse af fjordens økosystem bidrager desuden med vigtig information til udarbejdelse af miljømål for fjorden samt målrettede miljøtiltag i oplandet.

Rapporten giver en kort gennemgang af de centrale miljøparametre for udviklingen i Mariager Fjord hvoraf et udvalg af de vigtigste figurer og tabeller fremgår i rapporten. Øvrige beskrivende figurer og tabeller findes i det tilknyttede bilag. Rapporten bygger på data fra ODA-databasen (Overfladevandsdatabasen), som indeholder data indsamlet i NOVANA-programmet. Der er her indhentet data tilbage fra januar 1980 frem til marts 2020. Der er dog enkelte år, hvor der mangler data, hvilket beskrives yderligere i kapitel 2.

I forbindelse med udarbejdelse af rapporten er der foretaget en inddragende proces af lokale aktører således, at rapporten i videst muligt omfang inkluderer fagligt relevante kommentarer og input fra forskellige interessenter og eksperter. Den involverende proces er sket i regi af Interreg-projektet Water Co-Governance (WaterCoG), hvor også idé og model for den involverende proces er udviklet. Den grundlæggende tænkning er, at der for hvert trin i en forvaltningscyklus (Figur 1.1) sker et samarbejde mellem relevante aktører herunder også lokale aktører. I WaterCoG forsøges det hermed at give en bedre proces for interaktion mellem "top-down"- og "bottom-up"-processer, så konstruktivt samarbejde og dialog mellem "top" og "bottom" bidrager til, at de overordnede mål opnås via inddragelse af lokal viden og ejerskab. Arbejdet med Mariager Fjord omhandler trin 2 - karakteriseringstrinnet.



Figur 1.1 Syv forvaltningstrin i en forvaltningscyklus.

2.1 Målestationer

Rapporten bygger på data fra ODA-databasen (Overfladevandsdatabasen), som indeholder data indsamlet i NOVANA-programmet. I Mariager Fjord har der fra 1980 til nu været registreret 27 målestationer. I analysen af miljøtilstanden er der lagt vægt på at bruge målestationer med lange datatidsserier. Udviklingen af henholdsvis næringsstoffer, klorofyl og CTD (iltkoncentration, salinitet og sigtdybde) i Inderfjorden præsenteres derfor i rapporten på baggrund af data fra målestationen ud for Mariager (93610032), og CTD-parametrene opgøres også ud fra data fra målestationen i den inderste del af fjorden (93610034). De to stationer refereres senere til som station 32 og 34. Grundet manglende data for perioden 1990-2016 er det valgt ikke at analysere næringsstof- og CTD-tilstanden i Yderfjorden. I analysen af bundvegetation tages der udgangspunkt i følgende seks transekter: 93610141, 93610173, 93610191, 93610196, 93610225 og 93610227, som er fordelt over hele Mariager Fjord. Målestationernes og transekternes placering fremgår af Figur 2.1.

2.2 Databehandling

I dataanalysen skelnes der mellem top- og bundmålinger ved at inddele prøvetagningerne af næringsstoffer og klorofyl i dybder på hhv. ≤ 5 meter og ≥ 25 meter. Data for CTD deles også op i top- og bundprøver, hvor topprøverne er den øverste måling i vandsøjlen og bundprøverne er den dybeste prøvetagning i vandsøjlen i målingen på dagen.

I den videre analyse inddeles data blandt andet i sommer- og vinterperioder, som henholdsvis indbefatter månederne maj-september og november-januar. Derudover vises udviklingen også på månedsbasis ud fra 10-års gennemsnit. For enkelte parametre er der tilføjet miljømål og næringsstofgrænseværdier for algevækst. Miljømålet for koncentrationen af sommerklorofyl *a* er $6,0 \mu\text{g/L}$ for Mariager Inderfjord jf. mål i vandområdeplanerne, hvilket angiver grænseværdien for en god/moderat økologisk tilstand (Miljø- og Fødevarerministeriet, 2016). Væksten af alger, målt som klorofyl, begrænses blandt andet af næringsstofkoncentra-

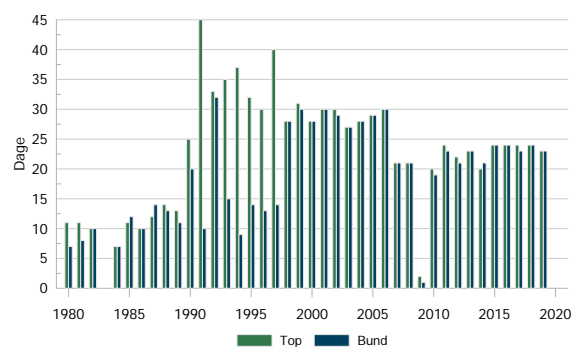
tionen. En grænseværdi for hvornår kvælstof og fosfor er begrænsende for algevækst er fastsat af Aarhus Universitet, men skal udelukkende ses som en vejledende tommelfingerregel (Aarhus Universitet, 2018). Grænseværdien for hvornår det let plantetilgængelige opløste uorganiske kvælstof, "Dissolved Inorganic Nitrogen" (DIN), som er de summerede værdier af nitrat+nitrit-N og ammonium+ammoniak-N, er begrænsende for algevækst er sat til $28 \mu\text{g/L}$. Den vejledende grænseværdi for, hvornår fosfor (orthofosfat-P) er begrænsende for planktonalgevækst er sat til $6,2 \mu\text{g/L}$.

I diagrammerne for bundvegetation vises den maksimale dybde for bundvegetationens hovedudbredelse, hvilket svarer til en dækningsgrad på mindst 10%. Derudover vises også den maksimale dybdegrænse for bundvegetationen, hvilket svarer til en dækningsgrad på mindst 1%. Miljømålet for hovedudbredelsen af ålegræs er fastsat til en dybdegrænse på mindst 3,1 meter i Inderfjorden og 3,6 meter i Yderfjorden jf. mål i vandområdeplanerne, hvilket angiver grænseværdien for en god/moderat økologisk tilstand (Miljø- og Fødevarerministeriet, 2016).

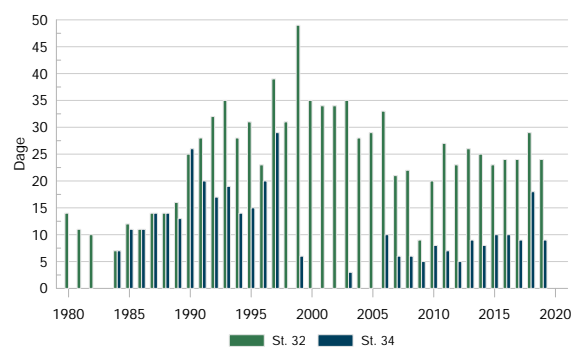
2.3 Prøvetagningsfrekvens

Der er foretaget prøvetagninger af næringsstofindholdet i den indre del af Mariager Fjord (ved målestation 32) i perioden 1980-2019. Figur 2.2 beskriver antallet af udsejlinger, hvor der er målt for næringsstoffer fra 1980 og frem til 2019. Antallet af udsejlinger repræsenterer derfor antallet af dage med prøvetagning af de respektive parametre. Prøvetagningsfrekvensen for målingen af næringsstoffer har varieret gennem årene, men er blevet forhøjet siden slutningen af 80'erne, hvorefter der har været ca. 20-30 udsejlinger pr. år, med undtagelse af 2009, hvor der kun var enkelte prøvetagninger. Der er desuden foretaget top- og bundmålinger ved næsten hver udsejling, med undtagelse af starten af 1990'erne, hvor bundmålingerne kun blev indsamlet en gang i måneden. Prøvetagningen af CTD-parametrene er ligeledes udført i perioden 1980-2019, hvor der både ligger en længere tidsserie for målestation 32 og 34. Prøvetagningsfrekvens er dog noget lavere ved station 34 (se Figur 2.3). Grundet fejlbehæftet laborationanalyser er der kun data for klorofylindholdet fra 2002 og frem, hvor prøvetagningshyppigheden har været om-

trent den samme som for målingen af næringsalte (se bilag).



Figur 2.2 Antal dage med målinger af næringsstoffer pr. år i Inderfjorden.

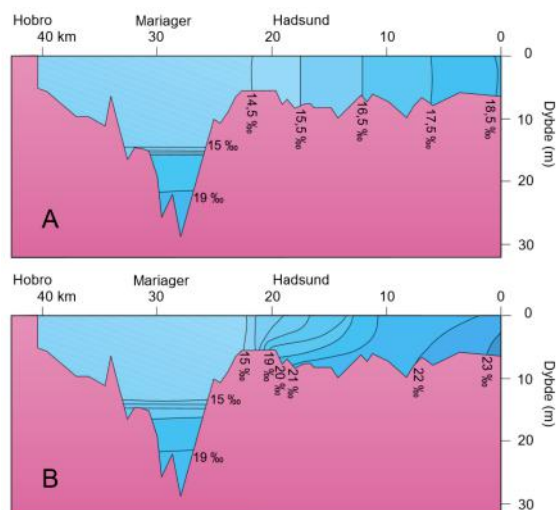


Figur 2.3 Antal dage med målinger af CTD pr. år i Inderfjorden.

3.1 Hydrografi

Mariager Fjord er kategoriseret som en tærskelfjord grundet dens specielle morfologi, der er karakteriseret ved en meget dyb Inderfjord og en lavvandet Yderfjord. Inderfjorden strækker sig fra Hobro til tærsklen nær Dania (Skarodde), hvorefter Yderfjorden fortsætter ca. 20 km ud til Kattegat. Vandudskiftningen er begrænset af Yderfjordens meget lave dybder, som nærmest kan karakteriseres som et vadeområde. Dertil forlænges opholdstiden som følge af fjordens lange smalle og snoede forløb. I Inderfjorden ud for Mariager ligger det såkaldte 'Dybet', der går ned til 30 meters dybde. Her er der permanent lagdelt ved 10-15 meters dybde og naturligt iltfattigt i bundlaget som følge af iltomsætning og ringe vandudskiftning. Det dybe bassin er afgrænset af stejle fjordskrænter, hvilket medvirker til en meget lav vandudveksling mellem overflade- og bundvandet. Der ses dog en øget opblanding/medrivning af vandsøjlen ved vindhændelser, som beskrevet i rapporten af DHI (2015).

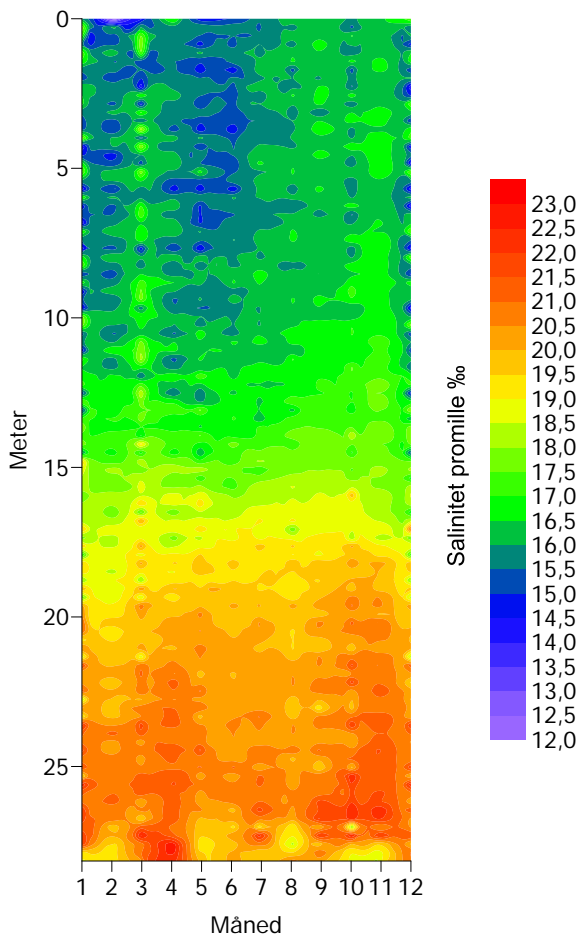
Inderfjorden er et type M1-kystvandområde og har et vandfladeareal på 28,3 km². Oplandsarealet til Inderfjorden er 303 km², hvilket giver en opland:vandflade-ratio på 10,7. Yderfjorden er klassificeret som et type P1-kystvandområde, og har et vandfladeareal på 17,6 km². Med et oplandsareal på 269 km² har Yderfjorden en relativt høj opland:vandflade-ratio på 15,3 (Miljøministeriet - Naturstyrelsen, 2011).



Figur 3.1 Længdeprofil af Mariager Fjord med angivelse af typisk saltholdighedsfordeling ved vindstille perioder (A) og efter periode med vestervind (B). Fra Christensen (1997).

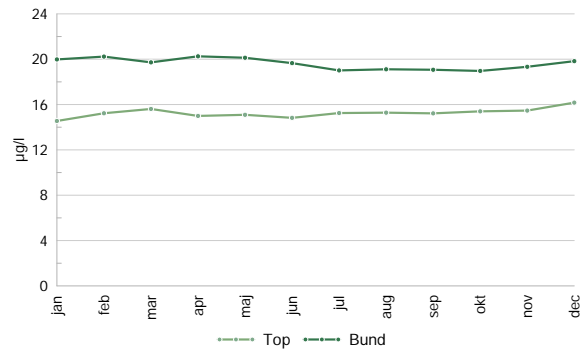
3.2 Salinitet

Saltindholdet har en tydelig gradient ved målestation 32, hvor det vindbeskyttede, stejle og dybe bassin skaber en permanent lagdeling samt en lav vandudskiftning. Saltindholdet i overfladelaget ligger på 15-17 promille, og i bundlaget er saltkoncentrationen ca. 19-21 promille. Målingerne fra station 32 ved Dybet viser en tydelig skilleflade ved ca. 10-12 meters dybde frem til sensommeren, hvorefter efterårets vindpåvirkning medfører en øget opblanding af vandsøjlen, således lagdelingen rykker ned til ca. 15 meters dybde (se Figur 3.2).



Figur 3.2 Isopleth af saliniteten (promille) over året som gennemsnit af perioden 1980-2019 gennem hele vandsøjlen ved målestation 93610032.

Ved målestation 34 ses der ikke en nær så tydelig gradient for saltindholdet igennem vandsøjlen som ved station 32. Dette skyldes dels en lavere prøvetagningsfrekvens samt en større år-til-år variation ved station 34. Hvis der i stedet kun vurderes ud fra top- og bundmålingerne, så ligger saltkoncentrationen gennemsnitligt på henholdsvis 14-16 promille og 19-21 promille over året (se figur 3.3). Dette er på samme niveau som for station 32, hvilket indikerer en ensartet salinitet i den inderste del af fjorden (station 34) og inder-midterdelen (station 32).

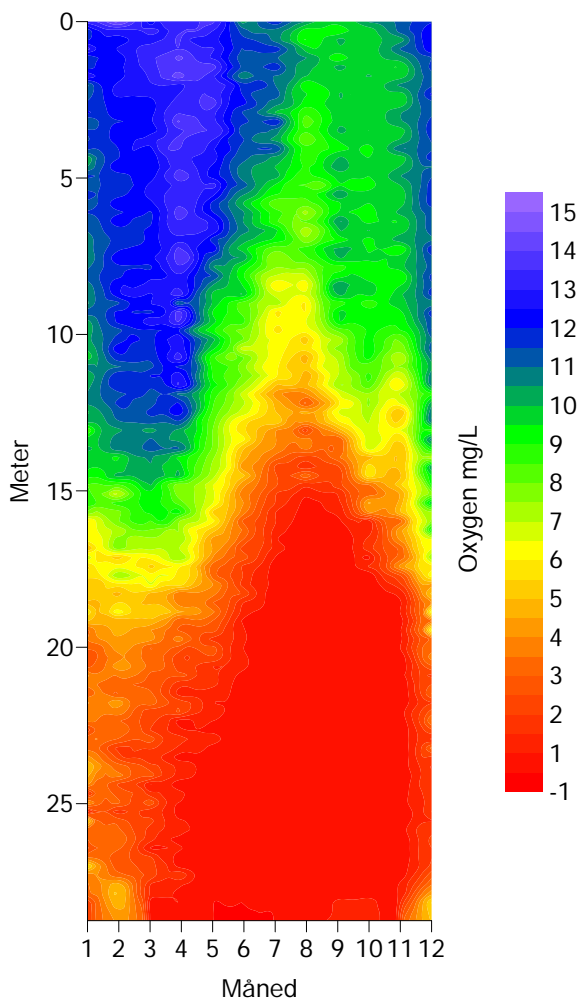


Figur 3.3 Gennemsnit af saltindholdet (promille) på månedsbasis for topprøver (øverste måling) og bundprøver (dybeste måling) på baggrund af målinger i 1984-2019 ved målestation 93610034.

3.3 Iltkoncentration

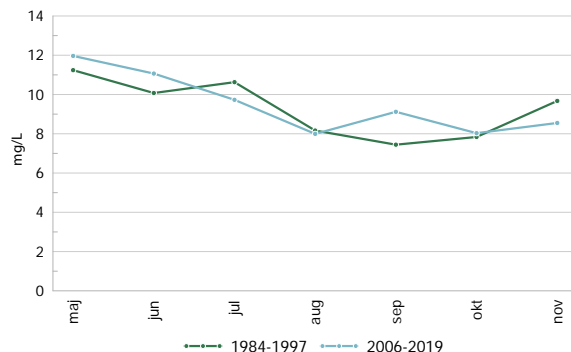
Iltindholdet ved Dybet (målestation 32) er i høj grad præget af lagdelingen og det dybe bassin, hvor der er permanent iltfattigt i bundvandet, og i sommerhalvåret er der næsten helt iltfrit ved bunden. I den øvre del af vandsøjlen varierer iltindholdet mellem 8-14 mg/L over året (se Figur 3.4). Det er valgt ikke at vise iltvindregistreringer ved målestation 32, eftersom der er konstant naturligt iltfattigt i bundlaget. Dog er det relevant at se på iltvindshændelser, som strækker sig igennem større dele af vandsøjlen. Dette ses især i forbindelse med varme og vindstille perioder, hvor der er potentiel risiko for bundvending og vidtstrakt iltvind. Iltvindshændelser i den øvre vandsøjle er registreret i august 1994, august-september 1997 og august 2006. I 1997 blev Inderfjorden sågar kategoriseret som død, som følge af kraftigt iltvind med bundvending og frigivelse af svovlbrinte i større dele af fjorden.

3. TILSTANDSBESKRIVELSE

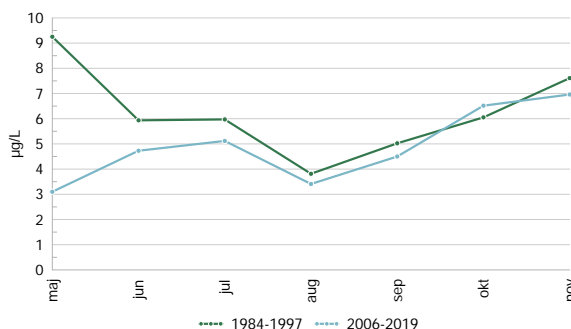


Figur 3.4 Isopleth af iltkoncentrationen (mg/L) over året som gennemsnit af perioden 1980-2019 gennem hele vandsøjlen ved målestation 93610032.

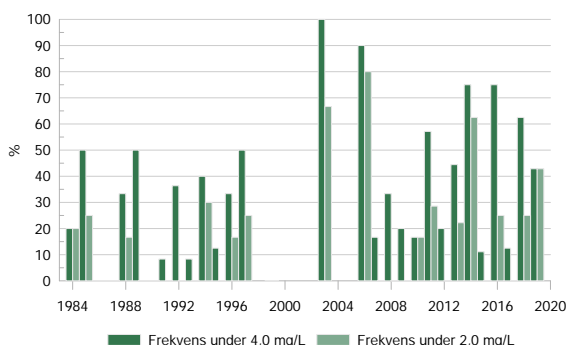
Ved målestation 34 falder iltniveauet markant fra maj til oktober under springlaget ved 5-6 meters dybde, hvor der hyppigt registreres iltvind i denne periode (Se Figur 3.7). I den øvre del af vandsøjlen er iltindholdet gennemsnitligt 7-12 mg/L over året og i bundvandet er iltindholdet gennemsnitligt 3-9 mg/L (se Figur 3.5 og Figur 3.6). Bemærk, at der kun vurderes ud fra maj-nov ved station 34 pga. relativt få antal prøvetagninger i de øvrige måneder.



Figur 3.5 Gennemsnit af iltkoncentrationen (mg/L) på månedsbasis for perioderne 1980-1989, 1990-1999, 2000-2009 og 2010-2019, topprøver (øverste måling) ved målestation 93610034.



Figur 3.6 Gennemsnit af iltkoncentrationen (mg/L) på månedsbasis for perioderne 1980-1989, 1990-1999, 2000-2009 og 2010-2019, bundprøver (dybeste måling) ved målestation 93610034.



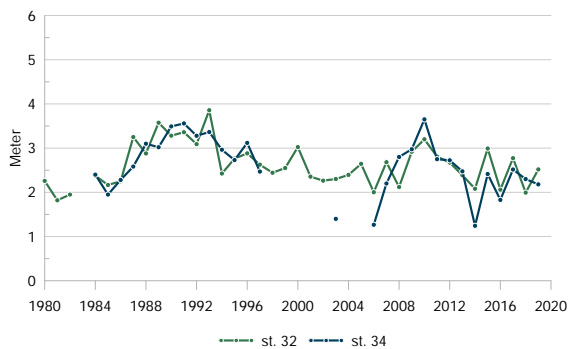
Figur 3.7 Registreringer af iltvind (<4,0 mg oxygen/L) og kraftigt iltvind (<2,0 mg oxygen/L) ved målestation 93610034. Angivet i procent som forholdet mellem antal udsejlinger fra maj-oktober og antal prøver med henholdsvis iltvind og kraftigt iltvind i samme periode. Bemærk, manglende datagrundlag i 1998, 2000, 2001, 2002, 2004 og 2005.

Der ses generelt en forholdsvis stabil udvikling for iltniveauet i både overflade- og bundlag, når man sammenligner udviklingen på månedsbasis ud fra de seneste 10-års perioder. Det er dog interessant at bemærke, at iltkoncentrationen ved station 32 overordnet ligger på det laveste niveau i den seneste 10-årsperiode. I den inderste del af Mariager Fjord (ved målestation 34) ser der ud til at være en svagt faldende tendens for iltniveauet om sommeren på trods af en længere årrække uden målinger (se bilag). Dette ses ligeledes ved en højere frekvens af iltvindregistreringer de seneste 10 år (se Figur 3.7).

3.4 Sigtdybde

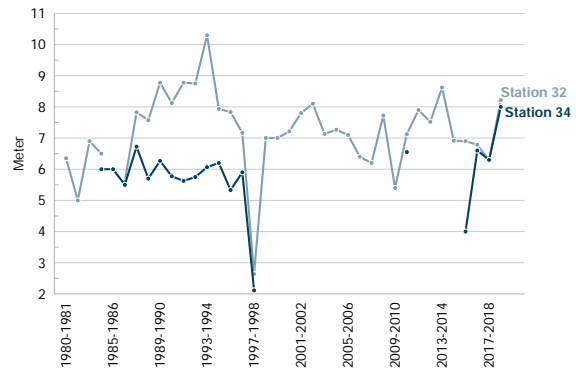
Sommersigtdybden i Inderfjorden har ikke ændret sig markant siden 1980'erne, men ligger på et niveau omkring 2-3,5 meter ved både station 32 og 34. Sommersigtdybden er dog forringet med ca. 1 meter i de seneste år, når det sammenlignes med det højeste niveau i årene omkring 1990. Der ses dog en betydelig variation med udsving på omkring 1 meters sigte fra år-til-år, og især i den inderste del af fjorden (målestation 34), hvor der enkelte somre har været sigtdybdemålinger på helt ned til 1,2 meter.

De sammenlignelige sigtdybder samt salinitet og iltindhold i den øvre vandsøjle indikerer, at miljøtilstanden, herunder næringsstofniveauet, i den inderste del af fjorden er repræsenteret gennem målingerne ved målestation 32, som gennemgås i efterfølgende afsnit. Det kan dog ikke forudsættes, at næringsstofniveauet i bundvandet er sammenligneligt ved station 32 og 34, eftersom iltindholdet er markant lavere ved station 34 som følge af det meget dybe bassin.



Figur 3.8 Sommergegensnit (maj-sep) af sigtdybden (meter) pr. år ved hhv. målestation 93610032 og 93610034.

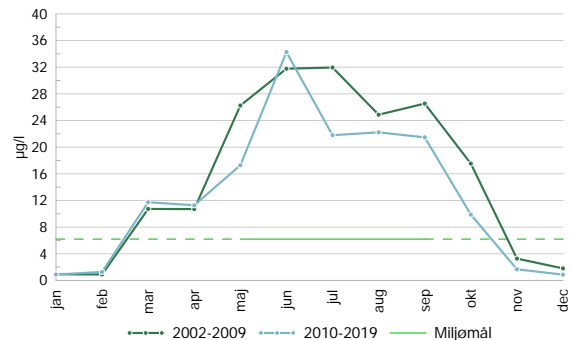
Vintersigtdybden er markant højere med et niveau på 5-9 meter, med undtagelse af enkelte års store udsving. Opblomstringen af planktonalger har altså en afgørende indvirkning på sigtdybden, som typisk allerede reduceres til 3-4 meter i april, hvorefter sigtbarheden forøges igen i september-oktober i forbindelse med efterårsstormene (se månedsforløb i bilag).



Figur 3.9 Vintergensnit (nov-jan) af sigtdybden (meter) pr. år ved hhv. målestation 93610032 og 93610034.

3.5 Klorofyl

Væksten af planktonalger måles ved klorofylkoncentrationen, som ligger på nogle meget høje niveauer om sommeren i Mariager Fjord. Gennemsnitligt set er klorofylmængden faldet i den seneste 10-årsperiode for sommertiden (maj-september). Der er dog samtidig indikationer på at sommerklorofylniveauet er steget en smule de seneste fem år. Her er det væsentligt at bemærke den store årlige variation, som især ses ved enkelte meget høje målinger i maj 2013, maj 2016 og september 2018. Vinterniveauet ser også ud til at være faldet i den målte periode (se bilag).

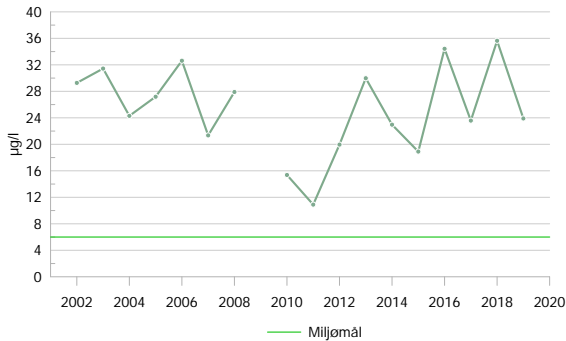


Figur 3.10 Gennemsnit af klorofylkoncentrationen ($\mu\text{g/L}$) i top prøverne på månedsbasis for perioderne 2002-2009 og 2010-2019. Miljømålet for god/moderat økologisk tilstand er $6,0 \mu\text{g/L}$ for Mariager Inderfjord.

Jf. vandområdeplanerne er der fastsat et miljømål på $6,0 \mu\text{g/L}$ for sommerklorofylkoncentrationen for at opnå en god/moderat økologisk tilstand i Inderfjorden. Sommergegensnittet for klorofylniveauet varierer typisk mellem $19-35 \mu\text{g/L}$, hvilket indikerer, at Mariager Fjord fortsat er langt fra miljømålet. Når man betragter sommermånederne enkeltvis, kan der dog observeres år, hvor klorofylkoncentrationen når under miljømålet i august-september. I maj-juli er der derimod en høj algeopblomstring, som tilmed ser ud til at være steget de seneste fem år (se bilag). Det skal bemærkes, at

3. TILSTANDSBESKRIVELSE

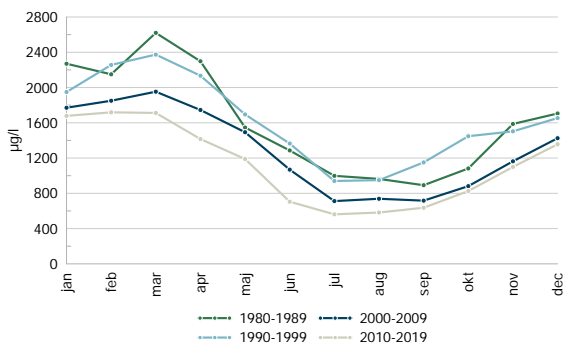
datagrundlaget anvender den ukorrigerede klorofylkoncentration, hvorimod miljømålet er fastsat for klorofyl *a*. Det vurderes dog ikke at have signifikant betydning i forhold til den samlede vurdering.



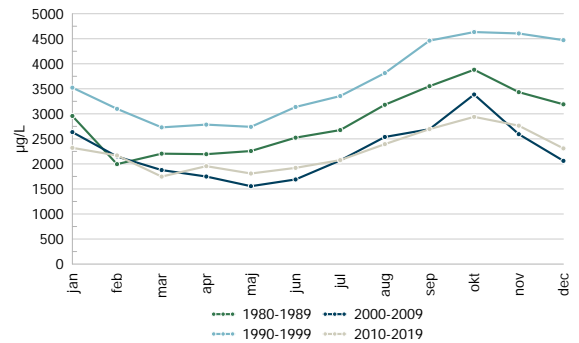
Figur 3.11 Sommergennemsnit (maj-sep) af klorofylkoncentrationen (µg/L) i topprøverne pr. år. Miljømålet for god/moderat økologisk tilstand er 6,0 µg/L for Mariager Inderfjord.

3.6 Kvælstof

Koncentrationen af totalt kvælstof (TN) er faldet med omkring 20-30%, når man sammenligner det nuværende niveau i forhold til 1980'erne på månedsbasis som gennemsnit ud fra 10-årsperioder (se Figur 3.12 og Figur 3.13). For både sommer- og vinterhalvåret ses der en jævnt faldende trend over de seneste årtier. Der er naturligvis årlige udsving i TN-koncentrationer, som især ses i bundmålingerne, hvor der ligeledes måles de højeste koncentrationer på op mod 4000-5000 µg/L i både sommer- og vinterperioden. I topmålingerne har den gennemsnitlige TN-koncentration de seneste år ligget forholdsvist stabilt omkring 600-800 µg/L om sommeren og 1500-1700 µg/L om vinteren (se bilag).

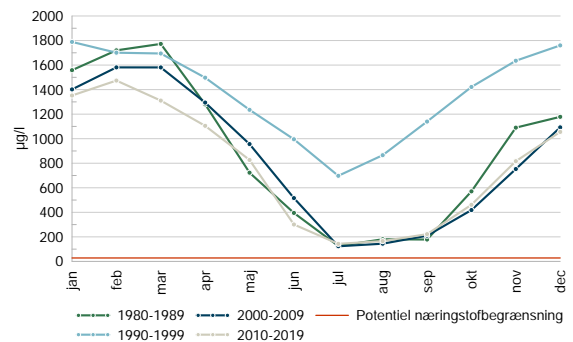


Figur 3.12 Gennemsnit af den totale kvælstofkoncentration (µg/L) i topprøverne på månedsbasis for perioderne 1980-1989, 1990-1999, 2000-2009 og 2010-2019.

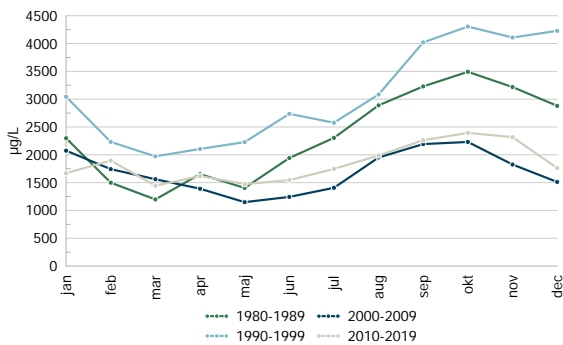


Figur 3.13 Gennemsnit af den totale kvælstofkoncentration (µg/L) i bundprøverne på månedsbasis for perioderne 1980-1989, 1990-1999, 2000-2009 og 2010-2019.

Koncentrationen af uorganisk kvælstof (DIN) følger ikke samme faldende trend som TN, men ser snarere ud til at have været forholdsvist uændret over de seneste årtier. Dette er dog med undtagelse af februar-april, hvor udviklingen for den gennemsnitlige DIN-koncentration er faldet i omtrent samme omfang som for TN. 1990'erne skiller sig her markant pga. enkelte år med meget høje målinger. Det gennemsnitlige sommerniveau for DIN ligger på 100-400 µg/L, og er dermed et stykke over grænsen for potentiel næringsstofbegrænsning på 28 µg/L. Når man vurderer udviklingen for de enkelte måneder, ses det til gengæld, at der siden 2000 hyppigere observeres DIN-koncentrationer under denne vejledende grænseværdi i juli-august. Der ses en hastigt faldende DIN-koncentration fra april til juli efterhånden som næringsstoffer optages af alger og vegetation samt udskiftning af fjordvandet, men væksten i forsommeren er oftest ikke nok til at opnå kvælstofbegrænsede forhold, med undtagelse af august enkelte år.



Figur 3.14 Gennemsnit af DIN-koncentrationen (µg/L) i topprøverne på månedsbasis for perioderne 1980-1989, 1990-1999, 2000-2009 og 2010-2019.



Figur 3.15 Gennemsnit af DIN-koncentrationen ($\mu\text{g/L}$) i bundprøverne på månedsbasis for perioderne 1980-1989, 1990-1990, 2000-2009 og 2010-2019.

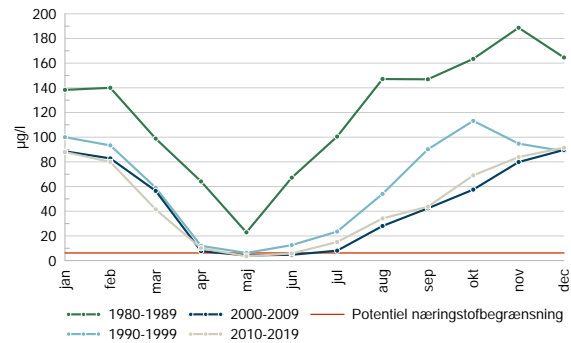
Det er væsentligt at bemærke forskellen i niveauerne af ammoniak+ammonium og nitrit+nitrat, som ligger bag DIN-koncentrationen, i henholdsvis overflade- og bundvandet. Forskellene skyldes især de fysiske forhold omkring Dybet, hvor springlaget i høj grad begrænser transporter mellem overflade- og bundvandet. For ammoniak+ammonium er niveauet omkring ti gange højere i bundlaget end overladelaget. De iltfattige forhold begrænser oxidering/nitrificering af ammonium/ammoniak, og den ringe vandudskiftning skaber gode betingelser for akkumulering. Akkumuleringen sker primært i maj-oktober, hvor iltniveauet går mod nul efterhånden som organisk materiale omsættes og næringsstoffer frigives fra bundsedimentet. I topmålingerne ses der imod ca. dobbelt så høje koncentrationer af nitrit+nitrat i forhold til bundmålingerne, hvilket hænger sammen med, at nitrat denitrificeres til frit kvælstof under iltfattige forhold i bundsedimentet. Se diagrammer af ammoniak+ammonium og nitrit+nitrat i bilag.

3.7 Fosfor

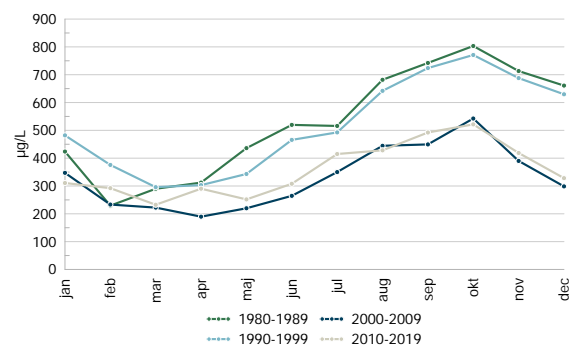
Fosforindholdet i Inderfjorden er faldet markant fra 80'erne, hvor reduktionen især ses i perioden fra 80'erne til 90'erne samt frem til 2000, hvorefter udviklingen er stagneret. Den totale fosformængde udgøres primært af orthofosfat, og derfor følger begge parametre den samme faldende udvikling. Udviklingen skal dog ses med forbehold for årlige udsving, som i udpræget grad gør sig gældende i bundvandet. I bundvandet ses der tilmed også meget høje orthofosfat-P-koncentrationer, som i de seneste år har ligget på 200-600 $\mu\text{g/L}$ både sommer og vinter. I topmålingerne er niveauet langt lavere, hvor sommerkoncentrationen er 5-40 $\mu\text{g/L}$ og 80-100 $\mu\text{g/L}$ i vinterperioden. I den øvre del af vandsøjlen har orthofosfat-P-koncentrationen siden slutningen af 90'erne næsten hvert år ligget under 6,2 $\mu\text{g/L}$ i det meste af perioden april-juli, hvilket indike-

rer, at fosfor er potentielt begrænsende næringsstof i store del af vækstsæsonen. Dette er også illustreret i Figur 3.18.

I bundvandet ses der typisk en stigende koncentration af orthofosfat fra maj til oktober, hvilket hænger sammen med, at der bliver iltfrit i bundlaget. Derved reduceres og opløses jernbundet fosfor, som frigives fra sedimentet og diffunderer ud i bundvandet.



Figur 3.16 Gennemsnit af orthofosfat-P-koncentrationen ($\mu\text{g/L}$) i topprøverne på månedsbasis for perioderne 1980-1989, 1990-1990, 2000-2009 og 2010-2019.



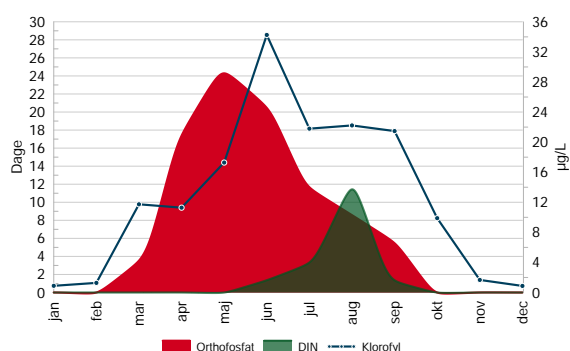
Figur 3.17 Gennemsnit af orthofosfat-P-koncentrationen ($\mu\text{g/L}$) i bundprøverne på månedsbasis for perioderne 1980-1989, 1990-1990, 2000-2009 og 2010-2019.

3.8 Næringsstofbegrænsning

For at illustrere hvornår væksten af klorofyl er potentielt begrænset af henholdsvis kvælstof (DIN) og fosfor (orthofosfat), er der udregnet et gennemsnit af antallet af dage per måned, hvor hvert næringsstof er begrænsende ud fra perioden 2010-2019. I denne periode har orthofosfat været potentielt begrænsende for planktonalgevæksten i marts-september, hvor der i april-maj især har været en del prøvetagninger med en orthofosfat-P-koncentration under 6,2 $\mu\text{g/L}$. Klorofylkoncentrationen stiger i høj grad i forårsmånederne. DIN har kun i lavt omfang været en begrænsende faktor fra juni til september, hvor de fleste målinger med DIN-koncentrationer under 28 $\mu\text{g/L}$ typisk ses i august. I juli-august ses det, at den gennemsnitlige klorofylkon-

3. TILSTANDSBESKRIVELSE

centration falder i takt med, at både orthofosfat og DIN er potentielt begrænsende (se Figur 3.18).



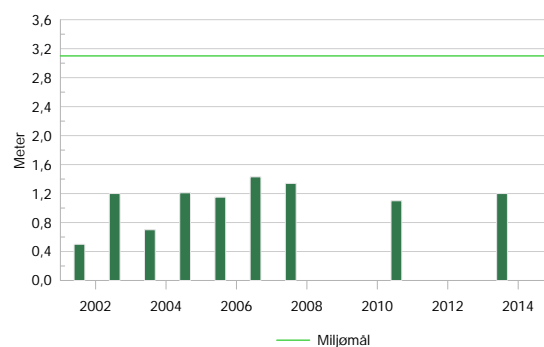
Figur 3.18 Antallet af dage med fosfor- og kvælstofbegrænsning som et gennemsnit af perioden 2010-2019 (Y-akse) og den gennemsnitlige koncentration af klorofyl ($\mu\text{g/L}$) pr. måned i perioden 2010-2019 (Z-akse).

3.9 Vegetation

Udbredelsen af bundvegetation analyseres ud fra transekter i hele Mariager Fjord i modsætning til analysen af næringsstoffer, som kun vedrører området omkring Dybet. Transekternes placering fremgår af Figur 2.1. Der findes dog kun data for vegetation fra 2000 og frem. I denne analyse deles fjorden op i tre områder (indre, indre-midt og ydre). Der fokuseres primært på udbredelsen af Ålegræs (*Zostera marina*), men i bilag ses også en opgørelse over forekomsten af Havgræsser (*Ruppia sp.*).

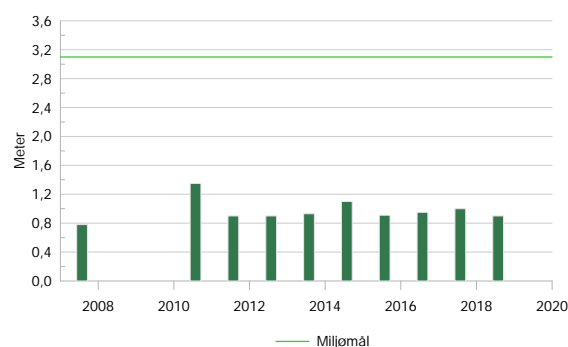
Der fokuseres både på den maksimale dybdegrænse samt dybden for hovedudbredelsen af de enkelte arter, hvilket svarer til henholdsvis mindst 1% og mindst 10% dækningsgrad af havbunden. Jf. vandområdeplanerne er miljømålet fastsat til 3,1 meter for ålegræssets hovedudbredelse i Inderfjorden og 3,6 meter i Yderfjorden.

I den indre fjord ses en hovedudbredelse, som går ned til ca. 1,2 meters dybde, hvilket overordnet set ikke har ændret sig siden 2004 (se Figur 3.19). Ålegræssets maksimale udbredelse ser derimod ud til at være faldet fra ca. 1,8 meter til 1,0 meter, men der skal dog tages højde for et få antal målinger de seneste år (se bilag).



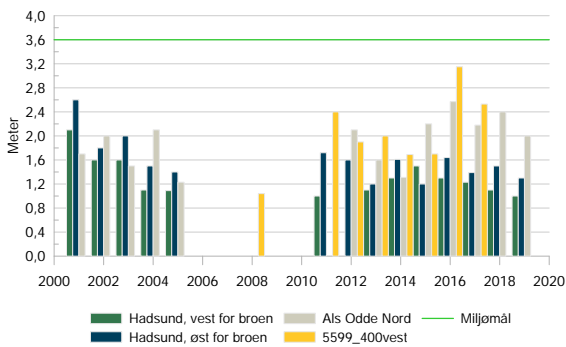
Figur 3.19 Årligt gennemsnit af ålegræssets hovedudbredelse ($\geq 10\%$ dækningsgrad) i den inderste del af Mariager Fjord samt miljømålsgrænsen.

I den indre-midterdel af Mariager Fjord ses ålegræssets hovedudbredelse ned til ca. 1,0 meter, hvilket ligeledes har ligget forholdsvist stabilt siden 2008 (se Figur 3.20). Den maksimale dybdegrænse ses mellem 1,0-1,5 meter, hvor udbredelsen også ser ud til at være gået en smule tilbage de seneste år med forbehold for variation (se bilag).



Figur 3.20 Årligt gennemsnit af ålegræssets hovedudbredelse ($\geq 10\%$ dækningsgrad) i den indre-midterdel af Mariager Fjord samt miljømålsgrænsen.

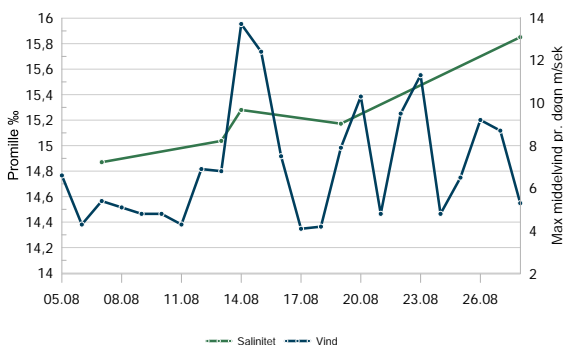
I Yderfjorden er der generelt set sket en markant forbedring af ålegræssets hovedudbredelse, som er gået fra et niveau på ca. 0,8 meter til ca. 2,2 meter i de seneste års målinger ved Als Odde (se Figur 3.21). Ved Als Odde er den maksimale dybdegrænse steget fra ca. 1,6 meter til 2,2 meter. Ved transekterne nær Hadsund ser det derimod ud til at ålegræssets maksimale dybdegrænse er mere eller mindre uændret (se bilag).



Figur 3.21 Årligt gennemsnit af ålegræssets hovedudbredelse ($\geq 10\%$ dækningsgrad) i den ydre del af Mariager Fjord samt miljømålsgrænsen.

3.10 Vindhændelser

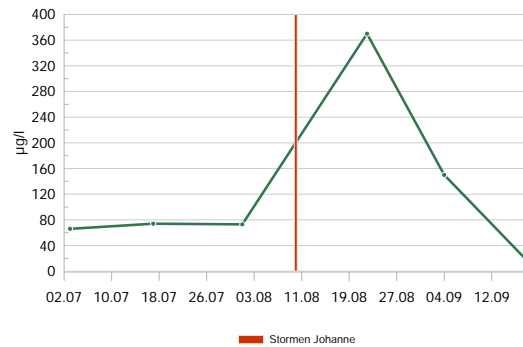
Indholdet af næringsstoffer og forholdet herimellem i Mariager Fjord er i høj grad styret af den ringe vandudskiftning, iltfattige bundforhold og lagdeling. Opblanding af vandsøjlen er begrænset og forekommer kun i mindre grad i efterårs- og vintersæsonen. I sommerperioden (maj-sep) opbruges ilten under springlaget, hvilket medfører frigivelse og akkumulering af næringsstoffer i bundlaget. Vindhændelser og ændrede strømforhold kan også føre til opblanding af vandlagene, og dermed også ændring i de kemiske og fysiske parametre. I følgende er der udvalgt to vindhændelser som eksempler: sidste halvdel af august 2003, som havde en længerevarende frisk til hård vind, og 10. august 2018 med stormen Johanne. I Figur 3.22 ses der et klart sammenhæng mellem vindstyrken og saltindholdet, som begge stiger 13.-14. august og falder efterfølgende frem til 19. august, hvor den vedvarende vind ligeledes forøget saltindholdet. Sammen med de stigende koncentrationer af ammoniak+ammonium og orthofosfat (se bilag), indikerer det tydeligt en opblanding af vandlagene.



Figur 3.22 Saltkoncentrationen (promille) i topprøverne og daglig middelvindstyrke (m/s) i august 2003.

Ved stormen Johanne ses det også tydeligt, at de fysiske parametre (salt-, ilt og temperatur) i overfladevandet pludselig har forskudt sig ved målingen d. 15. august. Det samme gælder for koncentrationen af ammo-

niak+ammonium og orthofosfat, som også stiger markant i topmålinger kort efter stormen (se udvikling for ammoniak+ammonium i Figur 3.23 og bilag for øvrige parametre).



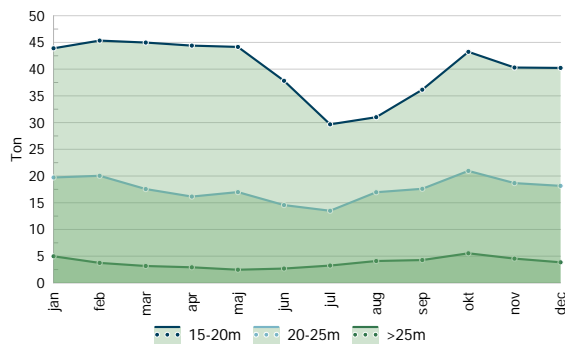
Figur 3.23 Koncentrationen af ammoniak+ammonium-N ($\mu\text{g/L}$) i topprøverne i august 2018 og datomarkering for stormen Johanne.

Opblanding af vandsøjlen i forbindelse med vindhændelser i sensommeren kan have væsentlig betydning for algevæksten, som jævnligt er potentielt næringsstofbegrænset af DIN og/eller orthofosfat i denne periode (se Figur 3.18). Næringsstofbegrænsningen ses dog kun i overfladevandet, hvorimod der er kontinuerligt høje næringsmængder tilgængeligt under springlaget.

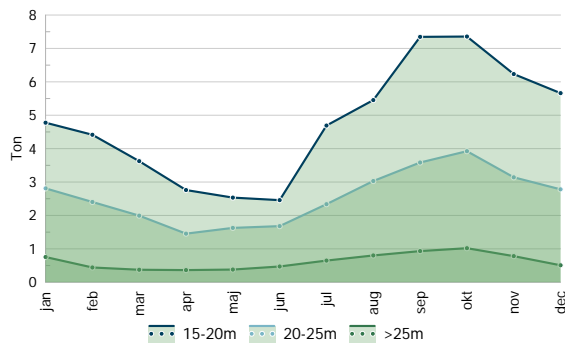
Den samlede næringsstofpulje under springlaget udgør derfor en potentiel intern belastningskilde sammen med puljen i bundsedimentet ved en længere tidshorison. De totale næringsstofmængder under springlaget er opgjort på månedsbasis på baggrund af de gennemsnitlige næringsstofkoncentrationer i 2000-2006 og bathymetrisk volumendata. Bemærk, at starten af 00'erne her er valgt som datagrundlag på grund af flere dybdemålinger i denne periode, og der tilmed ikke er sket markante ændringer i bundkoncentrationer siden.

De gennemsnitlige totalmængder under springlaget varierer mellem 30-45 t TN og 2,5-7,5 t TP og har sit højeste niveau i henholdsvis starten af året og slutning af året (se Figur 3.24 og Figur 3.25 samt bilag for øvrige parametre). Dog er der store mængder tilgængeligt hele året rundt, som potentielt kan blive blandet op i overfladelaget.

3. TILSTANDSBESKRIVELSE



Figur 3.24 Summeret gennemsnitlig totalmængde af total kvælstof (ton) under springlaget på månedsbasis fordelt i tre dybdelag (15-20m, 20-25m og ≥ 25 m) på baggrund af data for 2000-2006.



Figur 3.25 Summeret gennemsnitlig totalmængde af total fosfor (ton) under springlaget på månedsbasis fordelt i tre dybdelag (15-20m, 20-25m og ≥ 25 m) på baggrund af data for 2000-2006.

Den interne pulje under springlaget kan sammenholdes med tilførslen fra oplandsområderne, som afstrømmer til Inderfjorden (opland 3612 og 3613). Jf. oplandsdata afstrømmer der årligt ca. 400-600t TN og 10-15t TP, som afstrømmer forholdsvis stabilt over året men med ca. 20-30% højere totalmængder i vinterhalvåret (Gertz & Nørgaard, 2020). Risikoen for intern belastning ved opblanding må derfor vurderes at være størst for fosfor, da den interne pulje er relativt stor sammenholdt med oplandstilførslen, samt at algevæksten primært er fosforbegrænset.

Mariager Fjords meget karakteristiske morfologi og dens relativt store oplandsareal er medvirkende til at skabe et sårbart vandmiljø. Den markante algevækst i fjorden medfører lav sigtdybde, forringet udbredelses-potentiale for ålegræs og iltsvindshændelser, som kan brede sig over større områder, og til lavere vanddybder end de dybeste dele, hvor der grundet de specifikke karakteristika for fjorden, mere eller mindre er permanent iltsvind. Næringsstoffer medfører en kraftig opblomstring af planktonalger i april-maj og hen over hele sommeren, dels som følge afstrømning fra oplandet, og dels som følge af den interne næringsstofpulje i de nederste vandmasser og sedimentet. Fosforkoncentrationen i de øvre vandmasser er lav fra april til juli, og er potentielt begrænsende for algevæksten.

Grundet den ringe vandudskiftning forbliver algerne i vid udstrækning i fjorden, hvor de sedimenterer og akkumulerer i bundlaget, hvor den organiske omsætning fører til et meget lavt iltindhold og dernæst næringsstoffrigivelse i sommerhalvåret. Recirkulering af næringsstoffer mellem overflade- og bundvand er derved med til at fastholde fjorden i ringe økologisk tilstand. Indholdet af næringsalte både internt fra sedimentet og oplandet bør derfor reduceres for at nå nærmere miljømålet for sommerklorofyl på 6,0 µg/L, hvor det nuværende niveau er på ca. 20-35 µg/L.

Bundmålingerne viser en mere stabil koncentration af næringssaltene over året i modsætning til topmålingerne. Næringsstofniveauet i overfladelaget stiger i august-oktober i forbindelse med øget afstrømning fra oplandet, som derefter falder markant fra det tidligere forår i forbindelse med væksten af især planktonalger og søsalat. Sæsonvariationen i bundlaget er langt fra lige så udpræget, som i den øvre del af vandsøjlen, hvilket skyldes den permanente lagdeling ved Dybet, som begrænser opblandingen. I sensommeren er næringsstofniveauet i bundvandet typisk på sit højeste, og udgør derfor en potentiel intern belastningskilde i forbindelse med vindhændelser og vandudveksling med Yderfjorden.

Fosfor er potentielt begrænsende for algeproduktionen i 4 måneder, hvorimod kvælstofindholdet ligger mar-

kant højere end det potentielt begrænsende niveau i hele sommerhalvåret. Dette gør Mariager Fjord helt anderledes i forhold til andre fjorde i Danmark, hvor man ser en fosforbegrænsning i foråret, som går over i en kvælstofbegrænsning om sommeren. Mariager fjord er langt fra at få kvælstofbegrænsning. Det er derfor nærliggende at overveje at øge fosforbegrænsningen yderligere. Dels fordi oplandets karakteristika fra naturens side favoriserer lave fosforniveauer og høje kvælstofniveauer i vandløbene, og dels fordi der er virkemidler, som kan begrænse den interne pulje af fosfor i bundlaget. Det vil sandsynligvis kræve en kraftig reduktion i kvælstoftilførslen for at kunne begrænse den primære produktion, i og med at DIN-koncentrationen typisk varierer mellem 100-400 µg/L i sommersæsonen. Derudover vil effekten af en eventuel reduktion i nitratudvaskningen fra oplandet være forsinket med 20-30 år. Dette skyldes, at mere end tre fjerdedele af netto-nedbøren i oplandet føres via grundvandet til Mariager Fjord uden eller med begrænset nitratreduktion i undergrunden (Miljøministeriet - Naturstyrelsen, 2011). Dertil kommer at, lige som for fosfor, så er indholdet af kvælstof i bundlaget meget højt og vil spille en faktor, trods yderligere begrænsninger fra oplandet.

Ålegræssets udbredelse er tilsyneladende gået lidt tilbage over de seneste år i Inderfjorden, når man ser på den maksimale dybdegrænse, hvilket kan have sammenhæng med en relativt stor variation i sommersigt-dybden de seneste år. I den ydre del af fjorden har ålegræsset derimod været i fremgang, men er fortsat et stykke fra miljømålet. En reduktion af planktonalger vil være helt nødvendig for at øge sigtdybden og øge dybdegrænsen for ålegræs.

For at nå nærmere på miljømålene for Mariager Fjord anbefales det at sikre sig mod øget fosfortilførsel til fjorden. En øget fosfortilførsel vil sandsynligvis forværre den økologiske tilstand til trods for en lavere kvælstoftilførsel, i og med at fosfor er den primære begrænsningsfaktor for væksten af alger. Derfor anbefales det først og fremmest at undersøge potentialet for reduktion af nuværende fosforkilder, for derved at satse på fosfor som begrænsende faktor for algevækst. I den for-

bindelse vil det være helt nødvendigt også at begrænse fosforfrigivelsen fra de interne fosforpuljer. For at begrænse omsætningen af den interne fosforpulje bør man undersøge potentialet for ilttilførsel eller aluminiumtilsætning. Iltning af bundlaget for at fjerne kvælstof i fjorden har i en tidligere undersøgelse vist ikke at give de ønskede resultater. Men det er ikke blevet undersøgt om iltning evt ved tilsætning af jern, som binder fosfat under iltrige forhold, vil kunne være en løsning til at fjerne den interne fosforbelastning. Alternativt her til er tilsætning af aluminium til sedimentlaget. Aluminium virker som fosforbindingsmiddel, og i modsætning til jern, også under iltfrie forhold. Det vil dog kræve en forundersøgelse af bl.a. totalmængden af fosfor. Aluminium er et virkemiddel i Vandområdeplaner for søer, men specielt i Sverige har man mange års erfaring ved brug af dette. Ulempen ved aluminium er, at det under specifikke forhold kan være giftigt. Mariager fjord har imidlertid en række karakteristika i form af stor vanddybde, lagdeling og iltsvind, som betyder, at aluminium vil være adskilt fra dyr og planter på stor dybde. Andre virkemidler kan være optagning af søsalat på de lavvandede flader i den ydre del af fjorden. Dette er der gjort forsøg med i et GUDP projekt, og optagningen kan evt kombineres med ålegræs udplantning. Ålegræsset er helt afgørende vigtigt som fødegrundlag, og helt specifikt for den lysbugede knortegås, som Danmark har et unikt habitatansvar for.

Der er endvidere lavet undersøgelser med henblik på at dyrke linemuslinger som virkemiddel. Linemuslingerne vil kunne filtrere vandet for alger og optage næringsstoffer, som tages ud af vandet ved høst. Virkningen på fjordens samlede økosystem er imidlertidigt ikke blevet undersøgt. Størstedelen af de næringsstoffer som muslingerne filtrerer ud af vandet som alger, bindes ikke til muslingerne, men falder til bunden som fækallier, hvorved dette kan øge recirkulationen af næringsstoffer i fjorden. I forbindelse med filtreringen bliver vandet klarere i områder ved muslinge anlæggene. Den mindre vækst af alger kan føre til en øgning af uorganiske næringsstoffer, som nu ikke optages af planktonalgerne, men i stedet føres ud på fladerne i yderfjorden, hvor de kan give grundlag for større vækst af søsalat.

Det må anbefales, at der udarbejdes en samlet strategi for fjorden, hvor både virkemidler i opland og fjord vurderes ud fra samlede helhedsbetragtninger for fjordens økosystem. På baggrund af data for fjorden virker

det udsigtsløst at satse på en kvælstofreduktion alene, som vandplanerne hovedsageligt har indeholdt.

For yderligere beskrivelse af virkemidlerne, henvises der til rapporter kaldet "Marine Virkemidler" af Timmermann et al. (2016) og Bruhn et al. (2020) Ovenstående forslag til tiltag kræver forundersøgelser af interne og eksterne næringsstofpuljer samt dynamikken herimellem.

REFERENCER

5

Bruhn, A., Flindt, M.R., Hasler, B., Krause-Jensen, D., Larsen, M.M., Maar, M., Petersen, J.K. og Timmermann, K. 2020. Marine virkemidler – beskrivelse af virkemidlernes effekter og status for vidensgrundlag. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 126. - Videnskabelig rapport nr. 368 <http://dce2.au.dk/pub/SR368.pdf>

Christiansen, C. 1997. Iltsvind i Mariager Fjord – hvorfor kom det i 1997?. *Geologist Nyt*: 6 s. 12-14

DHI. 2015. Iltning af bundvand i Mariager Fjord - estimering af N-fjernelse og P-immobilisering. Gertz, F., Nørgaard, L.B., 2020. Minirapport - Oplandet til Mariager Fjord. SEGES

Miljøministeriet - Naturstyrelsen, 2011. Vandplan 2012 – 2015. Mariager Fjord. Hovedvandopland nr. 1.3. Vanddistrikt: Jylland og Fyn.

Miljø- og Fødevareministeriet, 2016. Bekendtgørelse om overvågning af overfladevandets, grundvandets og beskyttede områders tilstand og om naturovervågning af internationale naturbeskyttelsesområder. <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=181970>

Timmermann, K., Boye, A.G., Bruhn, A., Erichsen, A.C., Flindt, M., Fassing, H., Gertz, F., Jørgensen, H.M., Petersen, J.K., Schwærter, S. 2016. Marine Virkemidler - beskrivelse af virkemidlernes effekter og status for vidensgrundlag. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. <http://dce2.au.dk/pub/MarineVirkemidler.pdf>

Aarhus Universitet, 2018. Mundtlig kommentar fra Institut for bioscience.

KONTAKT OS

Flemming Gertz

Chefkonsulent
+45 87 40 54 18
flg@seges.dk



Tobias Berthel Bendixen

Konsulent
+45 87 40 53 05
tobn@seges.dk

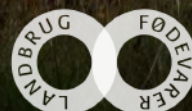


Sebastian Piet Zacho

Konsulent
+45 87 40 55 63
seza@seges.dk



www.SEGES.dk



SEGES

