

# Varmere klima giver mere iltsvind

*Trods flere vandmiljøplaner oplever vi i disse måneder de dårligste iltforhold i de danske farvande nogensinde – årstiden taget i betragtning. Det varmere klima trækker i den gale retning og truer miljøtilstanden i havet.*

Af Gunni Ærtebjerg,  
Jacob Carstensen og  
Peter Bondo Christensen

■ Hver sommer og efterår rammer iltsvind større eller mindre områder i havet omkring Danmark. Men i denne sommer har iltsvindet vist sig flere måneder tidligere end det plejer i vores fjorde.

Flensborg Fjord, Limfjorden og Åbenrå Fjord var allerede tidligt i juni ramt af iltsvind. Endvidere er der i år betydeligt mindre ilt end der plejer, i det vand der løber til de danske farvande fra Skagerrak. Det er kritisk, da vandmasserne indeholder den pulje af ilt, de indre danske farvande skal leve af sommeren igennem.

Meteorologerne lover en lang og varm sommer. Vi kan kun krydse fingre for, at det ikke går rivende galt, hvor et omfat-



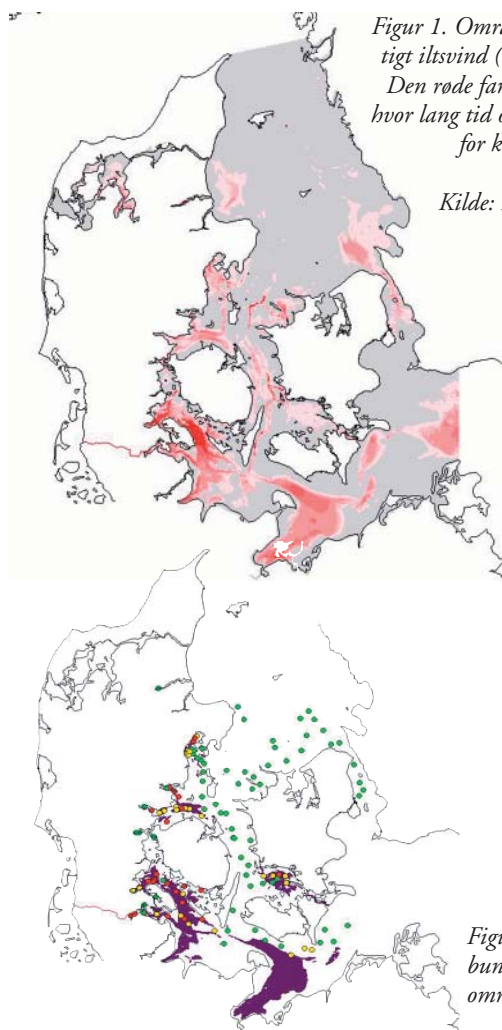
*Et sundt havmiljø er en værdifuld ressource for samfundet.*

tende iltsvind ødelægger store dele af vores havmiljø.

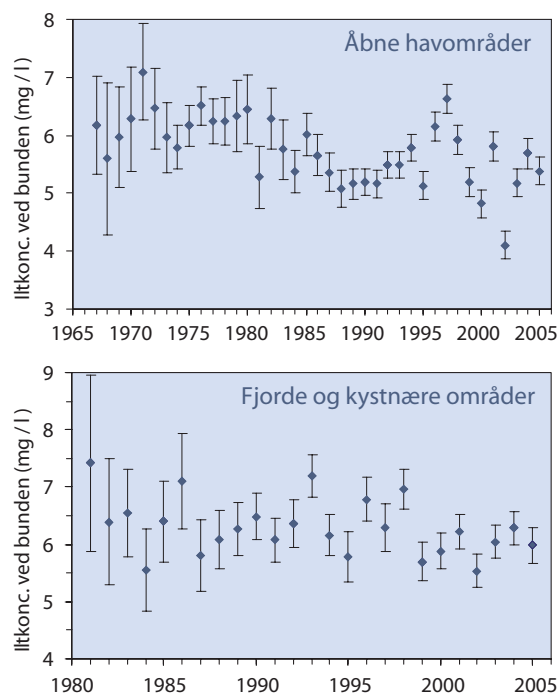
## **Iltsvind og dansk miljøpolitik**

Siden 1986, hvor døde hummere blev hentet op af Kattegat, har der været offentlig interesse for iltsvind. Hændelserne i 1986 var en af hovedårsagerne til, at den første vandmiljøplan blev vedtaget i 1987. Planen skulle markant reducere udledningerne af næringssalte til vandmiljøet.

Mariager Fjord "døde" i august 1997, hvor hele vand-søjlen blev iltfri efter en måned med meget varmt og stille vejr. Denne hændelse var medvirkende til Vandmiljøplan II, selvom kravene til, at Danmark kunne leve op til EU's Nitratdi-



Figur 1. Områder ramt af kraftigt iltvind (< 2 mg/l) i 2002. Den røde farveskala indikerer, hvor lang tid området var udsat for kraftigt iltvind fra 1 til 20 uger. Kilde: HELCOM 2003.



Figur 2: Middelmiddelt koncentration af ilt (juli-november) i bundvandet for stationer i åbne havområder samt fjorde og kystnære områder. Kilde: Ærtebjerg et al., 2005.

Figur 4. Under iltsvindet i 2002 døde ca. 370.000 tons bunddyr på et ca. 3.400 km<sup>2</sup> stort areal (mørk skraveret område). Kilde: Hansen et al. 2003.

rektiv også spillede ind.

I 2002 kom så det hidtil værste iltvind (figur 1). Bundvandet over ca. 9.000 km<sup>2</sup> havbund havde koncentrationer af ilt på under 2 mg/l (man taler om iltvind, når koncentrationen er under 4 mg ilt/l). I flere områder varede iltsvindet i op til flere måneder. Det store iltvind var sandsynligvis en af årsagerne til, at vandmiljøplan III blev vedtaget i 2004.

Iltvindshændelserne i de danske farvande har unægtelig været tæt knyttet til den danske miljøpolitik, selvom vandmiljøplanerne har et langt bredere formål end blot at afhjælpe iltvind. Gennem de seneste 20 år er der investeret milliarder af kroner for at reducere mængden af både kvælstof og fosfor til vandmiljøet.

Vandmiljøplanerne har haft god effekt og har givet lavere

koncentrationer af næringsalte i havet. Men klimaforandringerne reducerer desværre de opnåede forbedringer, og trods flere positive tendenser i vandmiljøet er koncentrationerne af ilt ikke forbedret siden den første vandmiljøplan, snarere tværtimod (figur 2). For at forstå, hvorfor der ikke er en umiddelbar sammenhæng mellem de færre næringsstoffer og iltvind er det vigtigt at se på, hvilke faktorer der styrer iltvind i de danske farvande.

#### Årsager til iltvind

Balancen mellem tilførsel og forbrug af ilt ved havbunden bestemmer, om der opstår iltvind. Når vandsøjlen er lagdelt, er bundvandet adskilt fra de øvre vandmasser og får ikke tilført ilt fra atmosfæren. Bundvandet har derfor en begrænset pulje af ilt, som organismer kan

trække på gennem sommeren. Den største del af iltforbruget sker i havbunden, hvor døde algeceller omsættes. Der opstår iltvind ved bunden, når forbruget af ilt overstiger tilførslen af ilt gennem en periode, så iltindholdet falder til under iltsvindsgrensen.

Iltforbruget ved bunden skyldes, at alger og andre organiske partikler, der drysser ned på bunden, bliver omsat under forbrug af ilt. Det er næringsstoffer og lys, der stimulerer algeproduktionen, og som sådan er næringsstofferne – og specielt kvælstof – en af de byggesten, der er nødvendig for, at et iltvind opstår. Men det er vejrforholdene, der bestemmer hvor hårdt et iltvind slår igennem.

I lavvandede fjorde og kystvande kan iltvind opstå meget hurtigt – næsten fra dag til dag. Om sommeren har fjordene ofte

et meget tyndt bundlag af saltere eller koldere vand, og havbundens forbrug af ilt opbruger hurtigt puljen af ilt i dette tynde lag. Men iltvind i lavvandede fjorde og kystvande forsvinder også hurtigt igen, da der ikke skal meget vind til at blande hele vandsøjlen og føre ny ilt ned til bunden.

Anderledes forholder det sig i de åbne, indre farvande, hvor der er en permanent lagdelt vandsøjle om sommeren. Bundvandet udgør i de indre farvande en stor pulje af ilt. Selvom bundvandet ikke får tilført ilt gennem flere måneder, falder indholdet af ilt i bundvandet kun langsomt fra april og når et minimum i august-oktober. På det tidspunkt kan indholdet af ilt i bundvandet blive så lavt, at der opstår mere eller mindre udbredte iltvind (se boks).

## Effekter af iltsvind

Normalt ser man først effekterne af iltsvind, når døde fisk skvulper rundt i strandkanten. Men iltsvind har mange ansigter, selv om de fleste er gemt bort under havoverfladen. Med mindre ilt i bundvandet, bliver forholdene ved havbunden dårlige og til sidst umulige at leve i for de fleste planter og dyr. Dyr, der kan, flygter, når vandets indhold af ilt bliver tilpas lavt. Andre må blive og kvæles langsomt. Atter andre har udviklet evner til at klare sig i kortere eller længere perioder uden ilt i bundvandet.

Iltsvind fører derfor til ændringer både i bundfaunans mængde og sammensætning. I forbindelse med iltsvindet i 2002 uddøde bunddyrene totalt i store områder af Bælthavet (figur 4). I andre områder udsat for længerevarende iltsvind med under 2 mg/l kollapsede samfundene ikke totalt, men der skete markante reduktioner både i antallet af arter og individer. Endelig skete der ændringer i sammensætningen af arter, uden at antallet af arter blev reduceret i områder, der havde kortvarende iltsvind.

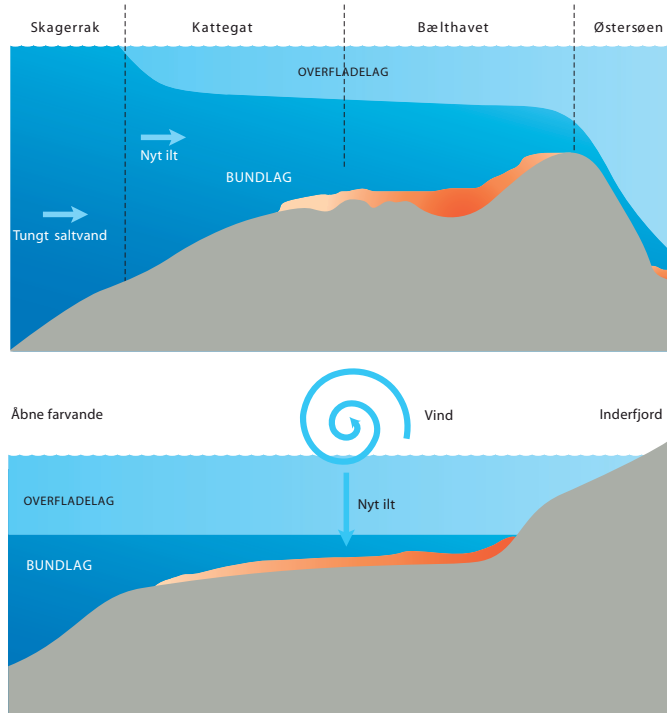
Rodfæstede planter som ålegræs tåler heller ikke iltsvind. Planterne dør, og store områder af ålegræs forsvinder under iltsvindshændelser på lavt vand. En havbund, der har været ramt af iltsvind, er et meget reduceret miljø, og det er svært for både planter og dyr af få fodfæste igen i det sorte mudder. Derfor tager det tid for både planter og dyr at vende tilbage.

Iltsvindshændelser har altså stor effekt på hele det marine økosystem. De manglende planter betyder forringede opvækstområder for fiskeyngel, mindre tilførsel af ilt til bundvand ved fotosyntese og en ustabil havbund, ligesom iltsvind fjerner fødegrundlaget for større fisk gennem en længere periode.

## Fremtidens iltsvind

Vandmiljøplanerne har ført til markante reduktioner i udledninger af næringsstoffer

*Figur 3. Iltholdigt vand transporteres fra Skagerrak til bundvandet i de indre danske farvande, hvor der undervejs løbende bliver forbrugt ilt (øverst). I fjorde og langs kysterne er bundlaget i den lagdelte vandsøjle ofte tyndt, og dermed bliver iltten hurtigt opbrugt (nederst).*



## Årsager til iltsvind

Iltsvind opstår kun, hvis vandsøjlen er lagdelt. I lavvandede fjorde og kystvande opstår periodevis lagdeling enten ved, at salt bundvand strømmer ind fra nabofarvande, eller ved at solen opvarmer overfladevandet, så der opstår et koldere bundlag (figur 3).

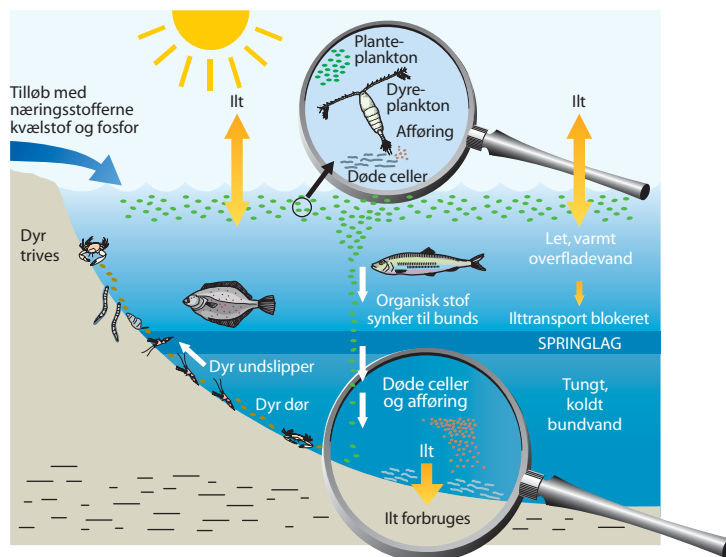
De åbne, indre farvande har en permanent lagdelt vandsøjle om sommeren, og her er iltodynamikken væsentlig forskellig fra fjorde og kystvande. Vand fra Østersøen strømmer i overfladen nordpå, mens det salte vand fra Skagerrak strømmer sydpå ind i de indre danske farvande langs bunden. Et kraftigt springlag i ca. 15 meters dybde adskiller de to vandmasser i et overfladelag og et bundlag.

Springlaget kan kun nedbrydes af meget kraftige storme, og det sker aldrig i sommerhalvåret.

Figuren viser de vigtige processer i vandsøjlen over og under springlaget, som er relevante i forbindelse med iltsvind.

I lavvandede fjorde og kystvande kan iltsvind opstå meget hurtigt – næsten fra dag til dag, da bundlaget er tyndt, og havbundens forbrug af ilt er stort. Der skal ikke meget vind til at blæse lagdelingen i fjordene i stykker, og iltsvind i lavvandede fjorde og kystvande forsvinder derfor også relativt hurtigt igen.

En vigtig byggesten for udvik-



lingen af iltsvind er næringsstoffer, som i fjordene primært stammer fra land. Analyser har vist, at det i fjordene overvejende er mængden af kvælstof, der gennem det forrige år er vasket ud fra land sammen med vindstyrkerne i perioden juli-september, der styrer udbredelsen af iltsvindet.

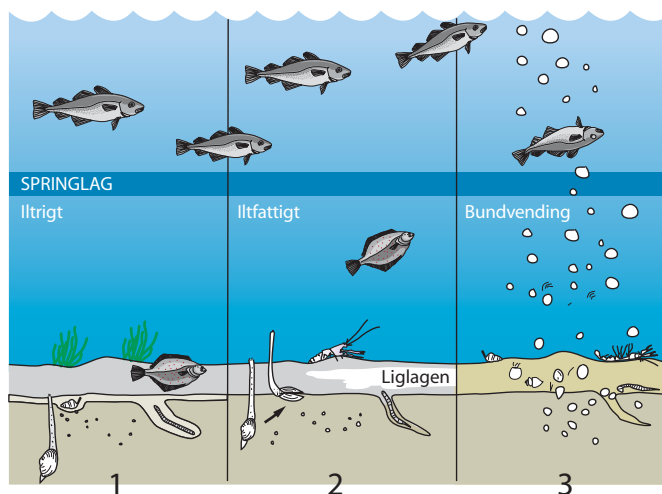
Også for de åbne, indre farvande viser analyser, at indholdet af ilt i bundvandet gennem sommeren og efteråret styres af kvælstoftilførslen i det forudgående år. Herudover er det afgørende, hvor meget ilt, der

horisontalt bliver tilført med det indstrømmende bundvand i perioden maj-september. Endelig spiller vinter- og forårstemperaturen i Skagerrak ind. Temperaturen bestemmer nemlig, hvor meget ilt der er i det Skagerrak-vand, der bliver til bundvand i Kattegat. Vandet i Skagerrak er mættet med ilt, men jo varmere vandet er, jo mindre ilt kan der opløses i vandet. Relativt varmt vand i Skagerrak giver altså bundvand i Kattegat med et lavere indhold af ilt, og det vil hurtigere føre til iltsvind i Kattegat, Øresund og Bælthavet

## Bundvending og fiskedød

Iltsvind i bundvandet påvirker en række bakterielle processer i selve havbunden. Bakterierne omsætter det organiske materiale, der drysser ned på havbunden, og mange af bakterierne lever uden ilt. Ved dårlige iltforhold bliver de sidstnævnte aktiveret tæt ved overfladen af havbunden og producerer svovlbrinte og metan lige under havbundens overflade.

Når svovlbrinte kommer helt op til overfladen af havbunden, danner hvide tæpper af svovlbakterier det såkaldt liglagen. Bakterierne ligger på overfladen af havbunden og ilter svovlbrinten med den smule ilt, der er i bundvandet (2). Er bundvandet helt frit for ilt, kan svovlbakterierne ilde svovlbrinten med nitrat. Liglaget er sidste skanse, før der sker et udslip af svovlbrinte til vandsøjlen. På dette stadie i ilt-



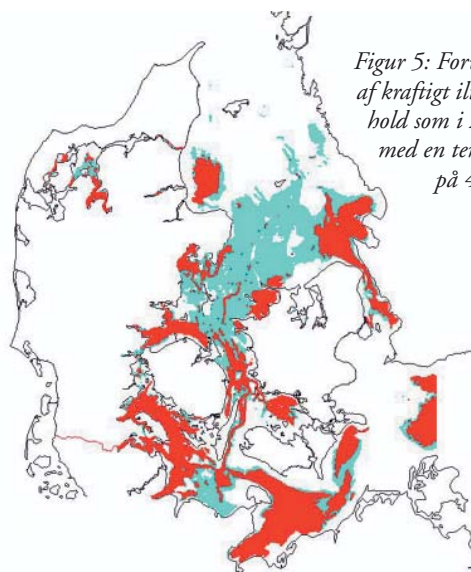
svindsforløbet, er der intet højere liv tilbage i havbunden.

Når alt ilt og nitrat i bundvandet er opbrugt, forsvinder svovl-

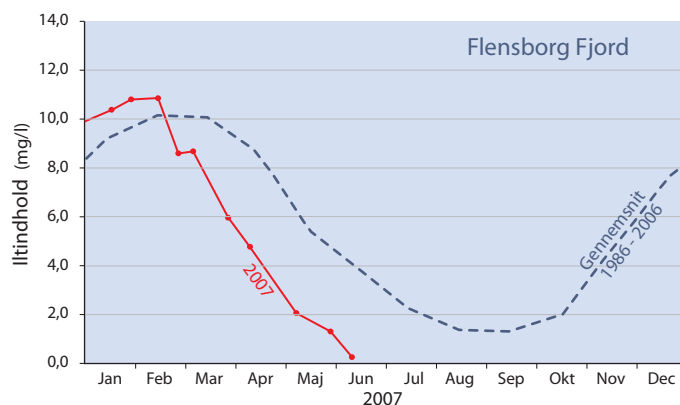
bakterierne også, og så er der fri adgang for den giftige svovlbrinte til vandsøjlen (3). Dette kan ske pludseligt og uden varsel, hvor

metanbobler dannet i havbunden løsriver sig og trækker en masse mudder og svovlbrinte med sig op. Dette fænomen kaldes bundvending, og det slår fisk og andre dyr ihjel højt oppe i vandet.

Pludselig fiskedød kan også opstå uden varsel af andre grunde, når fisk bliver fanget af bundvand med et meget lavt iltindhold. Man så det bl.a. i sensommeren 2002, hvor døde fisk skyllede op på vestvendte strande langs Ålborg Bugt, i Kalø Vig og i den inderste del af Vejle Fjord. Når fralandsvind (her vestenvind) trækker overfladevandet væk fra kysten, bliver det erstattet af det iltfattige bundvand, der i dette tilfælde blev trukket ind og op mod de vestvendte kyster. Det blev skæbnen for masser af fisk, der ikke kunne slippe væk.



Figur 5: Forventet udbredelse af kraftigt iltsvind under forhold som i 2002 (rød), men med en temperaturstigning på 4 °C (rød + blå).



Figur 6: Iltindholdet i Flensborg Fjord i 2007 har været usædvanligt lavt i forhold til gennemsnittet fra 1986 til og med 2006.

Kilde: Miljøcenter Ribe.

til vores havmiljø og dermed bidrager til en forbedring af iltforholdene. Men det varmere klima trækker desværre den modsatte vej.

Et varmere hav indeholder mindre ilt og fører til et større forbrug af ilt ved havbunden. De meteorologiske modeller forudsiger, at temperaturen stiger ca. 3-4 °C inden år 2100. Det betyder, at det Skagerrakvand, der bliver til bundvandet i de indre danske farvande, vil indeholde næsten 1 mg/l mindre ilt end i dag. Det er en ganske betragtelig størrelse set i

relation til, at koncentrationen af ilt i bundvandet i de indre danske farvande normalt falder til 2-4 mg/l i løbet af august-oktober.

En øget temperatur i bundvandet giver en hurtigere omsætning af det organiske materiale i havbunden. Specielt i fjorde og kystnære områder betyder det, at ilten i bundlaget hurtigere bliver opbrugt under perioder med lagdeling.

Klimaforandringerne medfører også mere nedbør og dermed en øget afstrømning fra land

- specielt gennem vintermånedene. Det giver en øget udvaskning af næringssalte og stærkere lagdeling i de indre farvande.

Fremtiden tegner derfor ikke lys for de danske farvande. Og netop i denne sommer har vi måske set et forvarsel på, hvad der venter os i fremtiden. Vandet har været betydelig varmere end normalt og iltsvindet er kommet flere måneder tidligere end normalt i Bælthavet og flere fjorde.

Får vi, som meteorologerne lover, en lang varm sommer pga. af et stabiliserende højtryk,

er der meget stor risiko for et langvarigt iltsvind i flere danske fjorde. Samtidig er bundvandet i de åbne indre farvande ca. 2 °C varmere end normalt. I maj måned havde det et iltindhold, der visse steder i Øresund og Bælthavet var 2,5-3 mg pr. liter mindre end normalt for årstiden, mens det i Kattegat var 1 mg pr. liter under normalen for årstiden. For den kommende sommer og efterår varslar det både kraftigere og mere udbredte iltsvind i de åbne indre farvande end vi har set i de senere år.

## Nødvendigt med færre næringsstoffer

Det usædvanligt store iltsvind, vi oplevede i 2002, kan blive normen, hvis ikke belastningen med næringsalte reduceres yderligere, eller den globale opvarmning kommer under kontrol. Alt tyder på, at vi næppe kan vende udviklingen for klimaforandringerne inden for den nærmeste 50-100 års periode. Det er derimod praktisk muligt at reducere tilførslen af næringsstoffer, og forskere anslår, at tilførslen af næringsalte skal reduceres med yderligere 30 % for at kompensere for effekterne af en temperaturstigning på 3,5 °C på udbredelsen af iltsvind.

Bliver der ikke kompenseret med en mindre tilførsel af næringsstoffer, bliver udbredelsen af iltsvind 2-3 gange større end i dag. Det betyder, at 10-20 % af de indre danske farvande hvert år bliver ramt af kraftigt iltsvind. Under uheldige omstændigheder med manglende vind som i 2002, rammes ca. 17.000 km<sup>2</sup> (eller ca. 40 % af det samlede areal) af kraftigt iltsvind (figur 5). Flere steder i det sydlige Bælt-hav vil der være iltsvind i hele bundlaget helt op til lagdelingen. Samtidig frigives der hyppigere større mængder af svovlbrinte fra bunden med konsekvenser for organismerne i vandsøjlen.

Vores havmiljø skal have en god økologisk status ifølge EU's direktiver. Med hyppige og udbredte iltsvind kan det diskuteres, om Danmark opfylder disse krav.

Vi har allerede reduceret udledningerne af næringsalte til vores havmiljø, og uden den indsats ville det se meget sort ud. Men havmiljøets evne til at omsætte organisk materiale har sandsynligvis ændret sig som følge af tidernes overbelastning med næringsalte og de deraf følgende iltsvind. Selv hvis tilførslen af næringsalte når ned på niveau, svarende til tilførslerne i 1950'erne og 1960'erne, er der lange udsigter til, at havmiljøet vender tilbage til den tilstand, det havde før de store

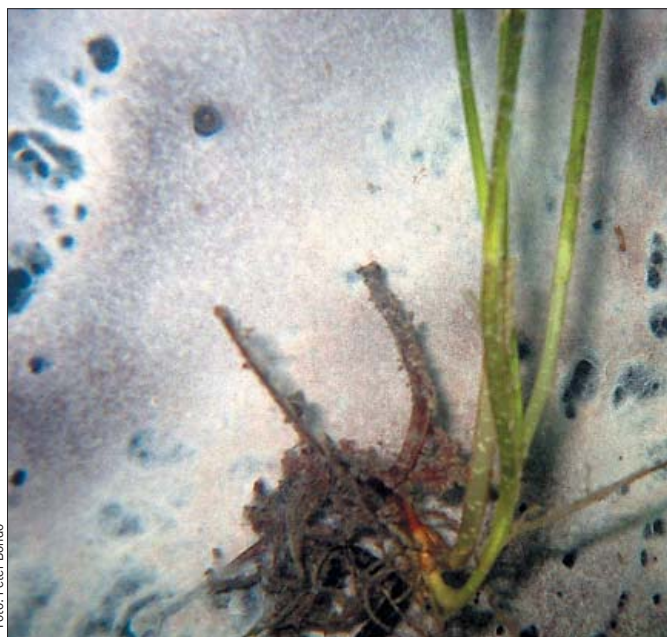
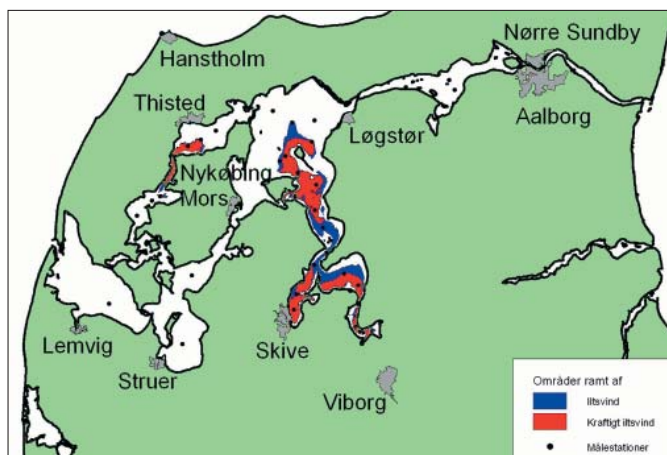


Foto: Peter Bondo

Det sidste ålegræs forsvinder, mens et ligelagen af hvide svovlbakterier breder sig. Fra Århus Bugt.



Figur 7. Omfattende og tidligt iltsvind i Limfjorden 2007. I alt var godt 13% af fjorden areal ramt af iltsvind, heraf godt 8% med kraftigt iltsvind med iltindhold på under 2 mg/l (rødt område) i uge 24.

Kilde: Miljøcenter Aalborg den 14. juni 2007.

belastningsårtier fra 1970 til 2000. Og de øgede temperaturer vil desværre betyde en væsentlig længere tidshorisont, før der bliver reetableret et sundt økosystem.

Færre næringsstoffer til vores havmiljø og færre drivhusgasser til vores atmosfære er vejen frem for at få et bedre havmiljø omkring Danmark. Tilførslen af næringsstoffer kan reduceres gennem en lokal (fjorde) og regional/international indsats (åbne farvande), hvorimod færre drivhusgasser kræver en global handlings-

plan. Vi får den største effekt ved at sætte ind på begge fronter. Der er ingen modeller, der præcist kan sige, hvor store reduktioner, der skal til, før vi har reetableret et havmiljø uden større iltsvind. Vi kender simpelthen ikke tilstrækkeligt de strukturelle ændringer i økosystemets funktion. Det bedste, vi kan gøre for det danske havmiljø, er derfor fortsat at nedbringe tilførsler af næringsstoffer, og at gøre dette hurtigt for at hindre, at tiltagene modsvares af de stigende temperaturer. ■

## Om forfatterne



Gunni Ærtebjerg er seniorrådgiver

E-mail: gae@dmu.dk



Jacob Carstensen er seniorforsker

E-mail: jac@dmu.dk



Peter Bondo Christensen er journalist og seniorforsker

E-mail: pbc@dmu.dk

Alle ved Marin Økologi, Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet.

## Yderligere læsning

Christensen, P.B., Hansen, O.S., Ærtebjerg, G. 2004: Iltsvind. 128 pp. Miljøbiblioteket, Forlaget Hovedland.

Christensen, P.B. et al., 2002: Stofomsætning i havbunden. 62 pp. Tema-rap. fra DMU.

HELCOM. 2003: The 2002 oxygen depletion event in the Kattegat, Belt Sea and Western Baltic Sea. Balt. Sea. Environ. Proc. No. 90. Tilgængelig på <http://www.helcom.fi>.

Ærtebjerg G. et al., 2005: Marine områder 2004 – Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten. NOVANA. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rap. fra DMU nr. 551.

Conley, D. et al., 2007. Long-term changes and impacts of hypoxia in Danish coastal waters. Ecological Applications (in press).

Hansen, J. et al., 2003: Opgørelse af skadevirkninger på bundfaunaen efter iltsvindet i 2002 i de indre danske farvande. Danmarks Miljøundersøgelser. 32 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 456.

Bendtsen, J. og Hansen, J. L. S. 2006: Klimabetingede effekter på marine økosystemer. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU nr. 598.