



Iltsvind



Peter Bondo Christensen
Ole Schou Hansen
Gunni Ærtebjerg

Hovedland



Redaktører

Peter Bondo Christensen er seniorforsker ved Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Marin Økologi. Er uddannet biolog og journalist og arbejder primært med miljøforhold i kystvandene. Har skrevet mange populære artikler om emnet.

Ole Schou Hansen er forsker ved Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Marin Økologi. Har gennem de sidste 10 år arbejdet med fysiologi hos bunddyr, algeopblomstringer og iltsvind i Danmark. Har flere års erfaring med populær formidling bl.a. som webformidler.

Gunni Ærtebjerg er seniorrådgiver ved Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Marin Økologi. Er uddannet havbiolog og har gennem 25 år arbejdet med næringssaltes virkninger i havmiljøet og årsagerne til iltsvind, både nationalt og internationalt. Står desuden for overvågningen af næringsstoffer og iltsvind i de åbne danske farvande.



Iltsvind

Redigeret af:**Peter Bondo Christensen****Ole Schou Hansen****Gunni Ærtebjerg****Med bidrag af:**

Jesper H. Andersen

Jonathan Carl

Jacob Carstensen

Preben Clausen

Rune Dietz

Jes Fenger

Tina Maria Greve

Jørgen L. S. Hansen

Ole Hertel

Alf B. Josefson

Dorte Krause-Jensen

Anders Branth Pedersen

Ib Krag Petersen

John Fleng Steffensen

Jonas Teilmann



Iltsvind

Redigeret af
Peter Bondo Christensen, Ole Schou Hansen og Gunni Ærtebjerg,
Danmarks Miljøundersøgelser

Med bidrag af
Jesper H. Andersen, Jonathan Carl, Jacob Carstensen, Preben Clausen,
Rune Dietz, Jes Fenger, Tina Maria Greve, Jørgen L. S. Hansen, Ole
Hertel, Alf B. Josefson, Dorte Krause-Jensen, Anders Branth Pedersen,
Ib Krag Petersen, John Fleng Steffensen og Jonas Teilmann

© 2004 Danmarks Miljøundersøgelser, forfatterne
og Forlaget Hovedland

Alle rettigheder forbeholdes.
Ingen del af denne bog må gengives, lagres i et søgesystem
eller transmitteres i nogen form eller med nogen midler grafisk,
elektronisk, mekanisk, fotografisk, indspillet på plade eller bånd,
overført til databanker eller på anden måde, uden forlagets
skriftlige tilladelse.

Enhver kopiering fra denne bog må kun ske efter reglerne i lov
om ophavsret af 14. juni 1995 med senere ændringer.
Det er tilladt at citere med kildeangivelse i anmeldelser.

Forlagsredaktion: Ole Jørgensen

Illustrationer og montage: Grafisk værksted,
Danmarks Miljøundersøgelser
Omslag: Grafisk værksted, Danmarks Miljøundersøgelser
Omslagsfotos: Peter Bondo Christensen
Scanning og tryk: Narayana Press, Gylling

Denne bog er trykt på 130 g Cyclus Print
Overskydende papir og pap er genbrugt

ISBN 87-7739-734-7

1. udgave, 1. oplag, 2004

Forlaget Hovedland
www.hovedland.dk
E-mail: mail@hovedland.dk

Indledning 6



Iltsvind – et naturfænomen løber løbsk 9



Hvad er iltsvind? 19



Iltsvind påvirker planter og dyr 35



Næringsstoffer, vejr og havstrømme 61



Hvad bliver der gjort? 83



Iltsvind og samfundsøkonomi 101



Måltrettet indsats nødvendig 113

Litteratur 122

Stikordsregister 125

Indledning



De fleste af os oplever kun iltsvind, når døde fisk skyller ind på stranden.

Foto: Bent Lauge Madsen.

I 2002 oplevede Danmark det største iltsvind, der nogensinde er registreret i vore farvande. Et område på størrelse med Sjælland blev ramt. Billeder af døde fisk, krabber og muslinger fyldte aviser og tv, og en voldsom offentlig debat rejste spørgsmål som: Hvordan kunne det gå så galt? Er iltsvind normalt? Hvordan påvirker iltsvind planter og dyr i havet? Hvem er ansvarlig for iltsvindet?

Iltsvind opstår ved en kombination af mange faktorer, som bl.a. omfatter næringsstoffer, vejret og havstrømme, og der er områder i de danske farvande, hvor der altid har været iltsvind. Men gennem de sidste årtier er iltsvind blevet hyppigere og mere omfattende end tidligere. Det er ikke muligt at påvirke vejret og havstrømmene, mens det i et vist omfang er muligt at kontrollere den mængde næringsstoffer, der ledes ud til havet fra land. En del af næringsstofferne i de danske farvande kommer direkte fra Danmark og er derfor vores eget ansvar. En anden del kommer fra andre lande via havstrømme, atmosfæren eller direkte udledninger. Disse kilder må derfor kontrolleres gennem internationale aftaler.

Den voldsomme debat om iltsvindet i pressen gennem efteråret 2002 viste, at der er store samfunds- og erhvervsmæssige interesser på spil. Derfor bevæger debatten om iltsvind sig hurtigt væk fra den faglige scene og bliver i højere grad en politisk debat, der til tider både er hård og følelsesladet.

I denne bog beskriver vi i de tre første kapitler, hvad iltsvind egentlig er, hvordan det opstår, og hvordan det påvirker havets planter og dyr. I fjerde kapitel fokuserer vi på næringsstofferne, som er en af årsagerne til iltsvind. Vi ser på, hvor mange næringsstoffer, der kommer fra Danmark og fra de øvrige lande omkring Danmark. I det femte kapitel beskriver vi, hvad man på nuværende tidspunkt gør både nationalt og internationalt for at dæmme op for mængden af næringsstoffer, der bliver ledt ud i havet, og hvor meget det har hjulpet. Endelig behandler kapitel 6 spørgsmålet om, hvordan iltsvind berører samfundsøkonomien, og i kapitel 7 ser vi på, hvordan man kommer videre.

Redaktionsgruppen ønsker at takke følgende personer, som alle har bidraget med konstruktive kommentarer til en tidlig version af manuskriptet: Professor Tom Fenchel, Marin-biologisk Laboratorium, Københavns Universitet; Professor Kaj Sand-Jensen, Ferskvandsbiologisk Laboratorium, Københavns Universitet; Seniorbiolog Flemming Møhlenberg, DHI, Institut for vand og miljø; Seniorforsker Brian Jacobsen, Fødevarøkonomisk Institut; AC-medarbejder Anja Skjoldborg Hansen, Institut for Miljøvurdering; Lektor Lars Peter Nielsen, Afdeling for Mikrobiel Økologi, Aarhus Universitet; Biolog Niels Sloth. Manuskriptet har endvidere været forelagt til kommentering hos Miljøstyrelsen, Skov- og Naturstyrelsen og Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret. Pia Nygård Christensen og Kirsten Rydahl takkes for korrekturlæsning af teksten. Vi vil også gerne takke vores kolleger i amterne for meget velvillig bistand med data og billeder.



Få har mulighed for at komme ned og se selve havbunden. Her viser et iltsvind sig ved døde eller døende dyr og et hvidt tæppe af svovlbakterier – det såkaldte liglagen.

Foto: Peter Bondo Christensen.



Iltsvind – et naturfænomen løber løbsk



Iltsvind er blevet et almindeligt ord i det danske sprog. Hver sommer hører vi nu om iltsvind i de danske farvande. Sådan har det ikke altid været. Der har godt nok været naturlige iltsvind i enkelte områder af vore farvande så langt tilbage i tiden, man har målinger. Men siden 1980'erne har iltsvindene forvandlet sig fra at være lokale naturfænomener til større og mere udbredte katastrofer for havmiljøet.

Foto: Ole Schou Hansen.



En lummer septemberdag i 1981 sad en lille håndfuld biologer og teknikere til formiddagskaffe på Århus Amt. Snakken gik helt naturligt om de døde fisk, der dagen før var skyllet i land langs kysten af Norddjursland. Fladfisk, ålekvabber og ulke lå med bugen i vejret og skvulpede i vandkanten.

Man var enig om, at der nok var gået hul på nogle gifttønder på havbunden, og at giften øjeblikkeligt havde dræbt fiskene. Kun en enkelt mente – til de andres store skepsis – at dårlige iltforskel i bundvandet havde dræbt fiskene.

Samme eftermiddag skulle analyser af havvandet nord for Djursland vise, at han havde ret. Der var intet ilt i bundvandet. Mangel på ilt, og ikke giftrester, havde slået fiskene ihjel.

I løbet af den følgende måned skyllede døde fisk også op på strandene flere steder i Bælthavet, og målinger viste, at der var udbredt iltsvind i store dele af Kattegat, Øresund og Bælthavet. Sensommeren 1981 var første gang, iltsvindet viste sit uskønne ansigt i de åbne indre farvande.

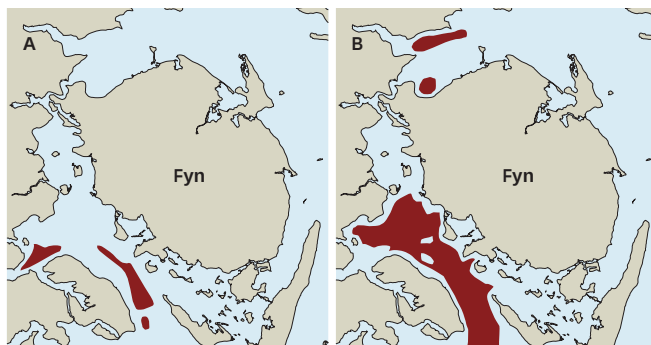
Iltsvind et naturfænomen

Iltsvind var dog ikke et ukendt begreb i 1981, for iltsvind er et naturligt fænomen, der optræder i søer og i havet, når der bruges mere ilt, end der tilføres.

Helt tilbage i slutningen af 1800-tallet kunne havbiologen C.G.J. Pedersen berette om pletter med sammenskyttet ålegræs på bunden af de danske farvande, hvor dyr og plante dele rådne, og hvor der stank af svovlbrinte. Man ved også med sikkerhed, at der i de seneste 100 år regelmæssigt har været iltsvind i bundvandet gennem sensommeren og efteråret i de dybe dele af det sydlige Lillebælt (figur 1-1).

Også i Limfjorden er iltsvind en gammel kending. Allerede i 1942 blev der offentliggjort et oversigtskort, der viste

Figur 1-1
Udbredelsen af iltsvind i henholdsvis 1910-1930 (A) og 1973-1988 (B) opgjort på grundlag af undersøgelser af bundfaunaen. Det ramte område er vokset markant mellem de to perioder.



”Steder, hvor der i visse Somre indtræder Iltmangel ved Bunden” (figur 1-2). Beretningerne kom fra institutionen med det snørklede navn: ”Ministeriet For Offentlige Arbejder under 16. april 1937 nedsatte Kommission til undersøgelse af Spørgsmålet om Foranstaltninger til Sikring af Limfjords-tangerne og Thyborøn Havn og Kanal”. Iltsvindet forekom især i de dybere områder af den produktive fjord, hvor omsætningen af de mange planktonalger skabte dårlige iltforhold ved bunden, og hvor ministeriet betegnede havbunden som ”Blødt mudder” (figur 1-2). I den østjyske tærskelfjord, Mariager Fjord, har der også meget langt tilbage i tiden været iltfrit bundvand i Dybet – et dybt område midt i fjorden, hvor vandudskiftningen er meget ringe.

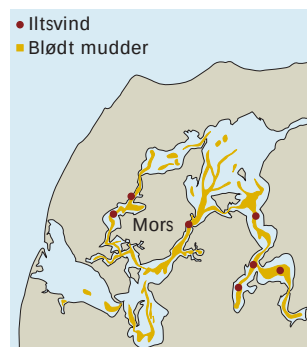
Naturskabte iltsvind er ikke kun et dansk fænomen. Det optræder i mange andre havområder rundt omkring i verden, hvor der sker en lille udskiftning af vandet og en relativ stor tilførsel af organisk stof. Det kan være i dybe fjorde i Norge eller i dybe bassiner med lille vandudskiftning som Østersøens Gotlandsdyb eller Cariaco-renden ud for Venezuela. Videnskabelige undersøgelser viser også, at iltsvind og havområder med lave iltmængder har eksisteret langt tilbage i geologisk tid rundt omkring i verden. Sortehavet har f.eks. været permanent iltfrit de seneste 7.000 år på dybder større end 200 meter.

Fra naturfænomen til katastrofe

Den naturlige omsætning af plante- og dyrerester ved havbunden kræver nemlig ilt og har gennem tusinder af år skabt iltsvind under særlige forhold. Specielt i afgrænsede, dybe områder bliver ilten hurtigt opbrugt. Her er vandudskiftningen og dermed tilførslen af ilt nemlig ringe.

På den måde er iltsvind et naturfænomen. Men op gennem 1980'erne kom der flere og flere iltsvind, og de områder, der blev ramt, blev større og større. Iltsvind blev for alvor et begreb i det danske sprog, og man blev klar over, at iltsvind ødelagde meget natur og kunne koste landet penge. Et naturfænomen, der tidligere forekom i begrænsede områder, havde udviklet sig til en omfattende trussel mod store dele af dyre- og plantelivet i de danske havområder.

Det var denne kedelige udvikling, man så begyndelsen af på den varme septemberdag i 1981. Som noget nyt var der pludselig iltsvind i områder, hvor der ikke plejede at være problemer med iltforholdene. Balancen var blevet skubbet. Men hvad var årsagen? Hvad skabte denne udvikling?



Figur 1-2
De røde prikker angiver steder, hvor der blev registreret iltsvind i Limfjorden i 1942.

I dag er det oplagt for de fleste, men i 1981 var sammenhængen ikke entydig. De første tydelige vink kom i 1982, da havbiologer viste, at der var en klar sammenhæng mellem den stigende mængde kvælstof-handelsgødning, der var blevet anvendt i landbruget siden 1950'erne, og den mængde planktonalger, der var i Storebælt. En sammenhæng der fortalte, at noget af det kvælstof, der blev spredt på markerne inde i landet, endte i havet, hvor det gødgede algerne.

Flere næringsstoffer – mere iltsvind

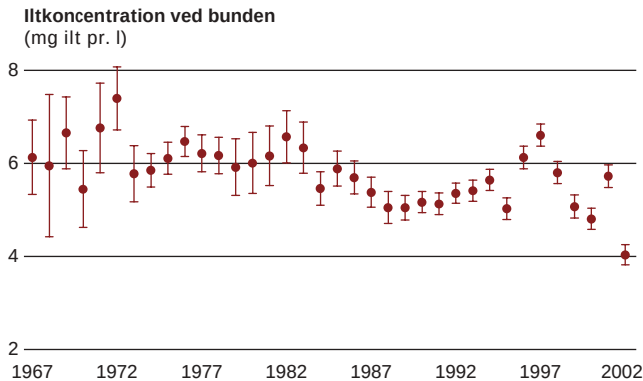
Efter 2. Verdenskrig steg forbruget af handelsgødning voldsomt i Danmark. Overskuddet af kvælstof på markerne steg tilsvarende. Kvælstofoverskuddet er forskellen mellem den mængde, der bliver tilført med foder, gødningsmidler, kvælstoffikserende planter og nedfald fra atmosfæren og den mængde kvælstof, der bliver fjernet med afgrøderne. Specielt gennem 1970'erne og 1980'erne var der et meget stort overskud af kvælstof i landbruget (figur 1-3). En stor del af dette overskud endte i havet, hvor det gødgede algerne. De mange alger blev grundlaget for et voksende omfang af iltsvind i vore farvande: Jo flere alger, der synker til bunden, jo mere ilt skal der bruges i bundvandet til at omsætte dem.

Resultatet afspejler sig bl.a. i mængden af ilt i bundvandet i de indre farvande. Man har målt iltindholdet i Kattegat og Bælthavet hvert år siden midten af 1960'erne (figur 1-4), og som man kan se, er iltindholdet faldet støt. Specielt gennem 1980'erne var der et kraftigt fald i indholdet af ilt i bundvandet. Siden 1990'erne har mængden af ilt i bundvandet varieret fra år til år uden nogen tydelig tendens.

Figur 1-3
Udviklingen i dansk landbrugs forbrug af kvælstof i handelsgødning (nederste kurve) og i landbrugets nettooverskud af kvælstof (øverste kurve) fra 1900 til 2002. Opgørelserne er lavet pr. driftsår. Se også figur 5-5.

Data fra A. Kyllingsbæk.





Figur 1-4
Udviklingen i den gennemsnitlige iltkoncentration i månederne juli-november ved bunden i de åbne indre farvande fra slutningen af 1960'erne til 2002. De lodrette streger viser den statistiske usikkerhed på gennemsnitsværdierne. Usikkerheden er blevet mindre gennem årene, da der er kommet flere og hyppigere målinger.

Denne udvikling finder man i de fleste danske havområder. I den dybe del af det sydlige Lillebælt har der eksempelvis altid været iltsvind. I dag er det ramte område omkring fem gange større end i 1910-1930 (figur 1-1). Generelt er omfanget og hyppigheden af iltsvind i de danske farvande steget voldsomt og ligger nu langt over det, man kan kalde naturligt.

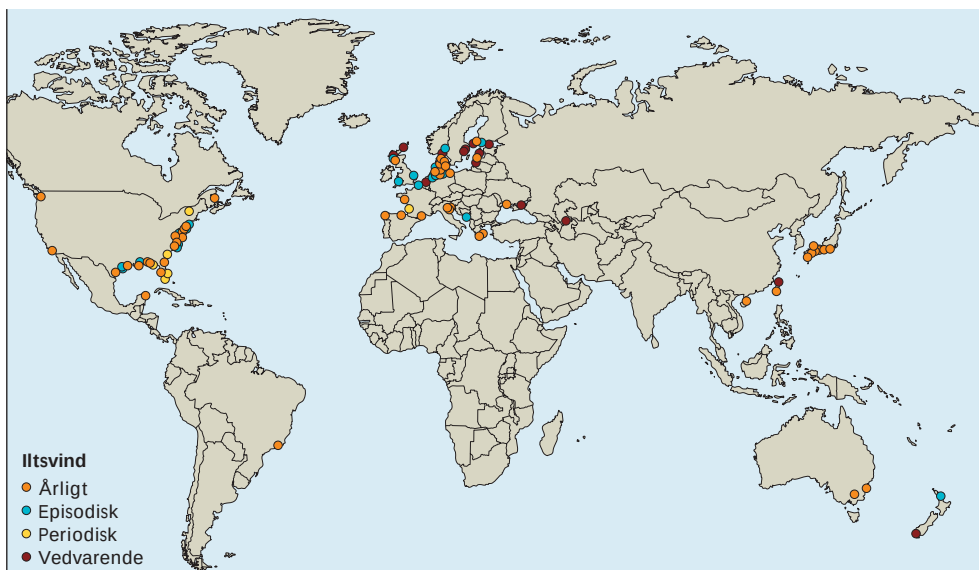
Selv om der gennem den seneste snes år er sat flere tiltag i gang for at nedsætte udledningen af næringsstoffer til havmiljøet (se kapitel 5), er der stadig et stort overskud af næringsstoffer på markerne. Og når kystområder og fjorde modtager næringsstoffer fra store landområder, kan der lokalt blive tilført rigtig mange næringsstoffer. F.eks. modtager visse områder af Limfjorden den dag i dag så mange næringsstoffer fra land, at de bliver gødet mere end en almindelig kornmark.

Et internationalt problem

Det er ikke kun Danmark, der har oplevet flere og flere iltsvind gennem årene. Store dele af verden har meldt om dårligere iltforhold i havet igennem de sidste 20-40 år, og mønsteret er det samme overalt: Større områder bliver i dag ramt, og iltsvindet varer længere end tidligere. Senest har FN's miljøorganisation (UNEP) udpeget 146 områder i verden, hvor menneskeskabte udledninger af næringsstoffer skaber iltsvindsproblemer (figur 1-5).

Et eksempel er "Den Døde Zone", som amerikanerne kalder det enorme område i den nordlige del af den Mexicanske Golf ud for Mississippifloden. Området rammes hvert år af iltsvind, og midt på sommeren dækker "Den Døde Zone" ca. 20.000 km². Det svarer til næsten halvdelen af Danmarks areal.

Men også andre steder langs USA's øst- og vestkyst giver afstrømningen af næringsstoffer problemer i form af iltsvind.

**Figur 1-5**

De 146 markerede områder bliver ramt af iltsvind med forskellig hyppighed.

Årligt: iltsvind optræder i en vis periode hvert år.

Episodisk: iltsvind optræder uregelmæssigt med mere end et års mellemrum.

Periodisk: iltsvind forekommer med regelmæssige intervaller på under et år.

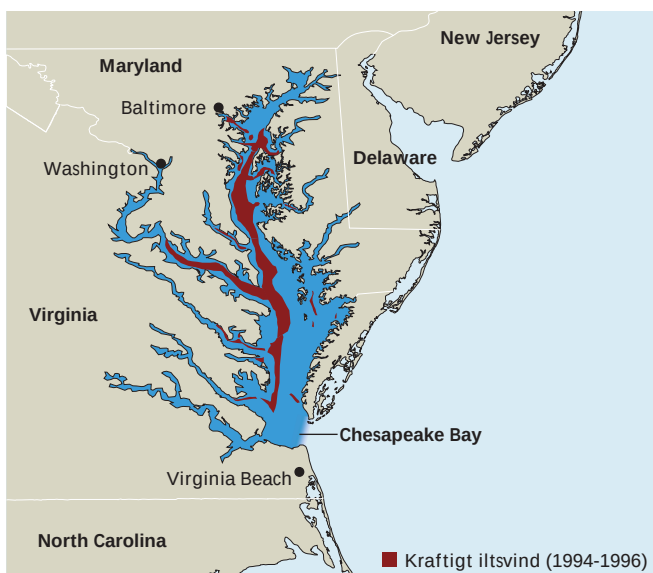
Vedvarende: iltsvind optræder permanent.

Efter UNEP's GEO rapport fra 2003.

Mere end en tredjedel af alle kystområder rammes jævnligt af iltsvind i de varme somre. Et af de mest velundersøgte områder er Chesapeake Bay på den amerikanske østkyst (figur 1-6). Her er omfanget af iltsvind steget markant siden 1960'erne, hvor man for alvor begyndte at bruge store mængder handelsgødning. Hver sommer har omkring halvdelen af det dybere vand i den store bugt stadig et faretruende lavt iltindhold, som skader kommercielt vigtige fisk og skaldyr.

Store områder af Østersøen har også været voldsomt plaget af iltsvind gennem de sidste to årtier, selv om mange lande omkring Østersøen endnu ikke har så intensivt et landbrug og så stort et forbrug af gødning som Vesteuropa.

Forholdene i Østersøen er specielle, fordi bundvandet i de dybe områder kun får tilført ny ilt, når der med års mellemrum strømmer større mængder salt- og iltigt vand ind fra Kattegat gennem Øresund og Bælthavet. For at udskifte Østersøens bundvand skal det indstrømmende vand være saltere og dermed tungere end det, der i forvejen findes i bunden af Østersøen. Det kræver en lang periode med vestlige storme, før så salt vand når hele vejen ind gennem de danske farvande til Østersøen. Hvert år strømmer ca. 475 km³ vand ind i Østersøen fra Bælthavet og Øresund. Men langt det meste af vandet er ikke salt nok til at forny bundvandet og lægger sig derfor i et lag mellem overfladelaget og bundvandet og tilfører altså ikke bundvandet ny ilt.



Figur 1-6

Chesapeake Bay er en enorm bugt på den amerikanske østkyst. Bugten er næsten på størrelse med Jylland og siden 1960'erne har store områder hvert år været ramt af iltsvind.

Da der siden 1970'erne har været langt mellem større forsyninger af nyt bundvand til Østersøen, er situationen blevet temmelig kritisk: Op mod $\frac{1}{4}$ af Østersøen, eller 70.000 km², har de senere år været ramt af iltsvind, hvilket naturligvis har stor betydning for dyrelivet.

Stadig iltsvind trods stor indsats

Efter et massivt iltsvind i de danske farvande i 1986 fremsatte den danske regering i januar 1987 Handlingsplan mod forurening af det danske vandmiljø med næringssalte – i daglig tale Vandmiljøplanen eller Vandmiljøplan I (se kapitel 5). Planen kostede det danske samfund mange milliarder kroner. Formålet var at nedsætte udledningen af næringsstoffer fra land til grundvand, ferskvand og hav og bl.a. derigennem reducere hyppigheden og omfanget af iltsvind i danske farvande.

Femten år efter vedtagelsen af Vandmiljøplan I og fire år efter vedtagelsen af den efterfølgende Vandmiljøplan II i 1998 oplevede vi i sensommeren 2002 det værste iltsvind nogensinde i de danske farvande.

Et område af havbunden på størrelse med Sjælland blev ramt. Bunddyr døde i store dele af området, og døde fisk skyllede op på strandene langs Ålborg Bugt, Kalø Vig, Ebeltøft Vig og Vejle Fjord. Vandmiljøplanernes reduktioner i udledningen af næringsstoffer har altså endnu ikke fjernet risikoen for omfattende iltsvind i danske farvande.

Boks 1-1**Definitioner på farvande i de danske havområder**

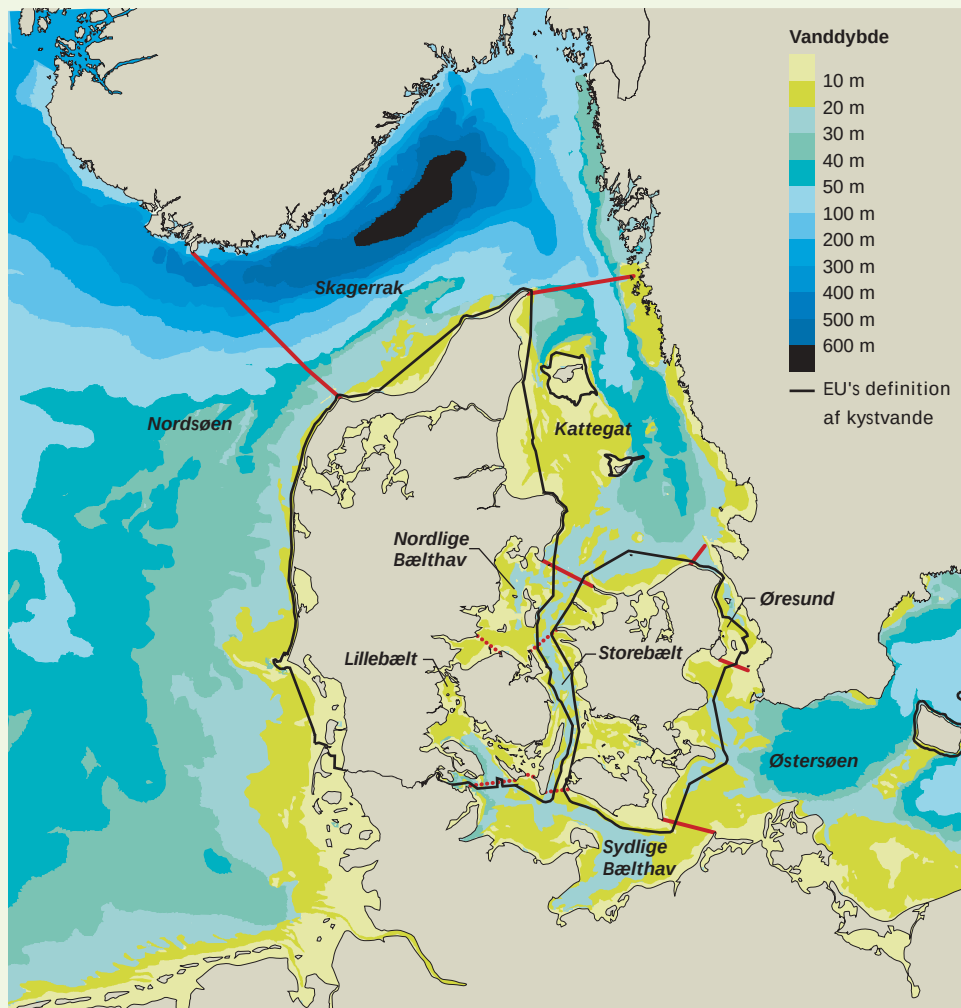
Denne bog omhandler først og fremmest forholdene i de indre farvande og de tilstødende danske fjorde og bugter. Det er her, iltsvind optræder årligt, og her problemerne med iltsvind er størst. Undertiden optræder der også udbredte iltsvind i den danske del af Nordsøen, som man f.eks. så i august 1982, 1983 og 1989. Iltsvindene i Nordsøen er dog ikke så regelmæssige eller langvarige som i de indre farvande. Der er normalt ikke iltsvind i den danske del af Skagerrak.

Farvandene har en række betegnelser, som er defineret nedenfor. Definitionerne af de forskellige kategorier tager enten udgangspunkt i en afstand fra den danske kystlinje, i dybdekurver, beskyttelsesgrad eller geografisk inddeling. Der kan derfor godt være et overlap mellem havområder inden for de forskellige kategorier. F.eks. kan en del af et åbent havområde godt være lavvandet.

- **Kystvande eller kystnære farvande:** I de danske recipientkvalitetsplaner fra 1980'erne er kystvande defineret som alle fjorde og bugter (defineret af Forureningsrådet i 1971, inkl. Lillebælt og Smålandsfarvandet) samt åbne kyster ud til 6 meter-dybdekurven eller mindst 1 sømil fra land.

I fremtiden vil EU's definition af kystvande i Vandrammedirektivet imidlertid gælde. Her er kystvande defineret som alt, hvad der ligger inden for de territoriale basislinjer, der afgrænser fjorde og bugter, plus 1 sømil uden for basislinjerne og åbne kyster. Vandrammedirektivets definition af kystvande medregner også en række beskyttede områder udpeget i forbindelse med EU's andre direktiver (Habitatdirektiv, Fuglebeskyttelsesdirektiv, Skaldyrsdirektiv m.fl.).

- **Åbne farvande eller åbne havområder:** De dele af Nordsøen, Skagerrak, Kattegat, Øresund, Bælthavet og Østersøen, som ikke er kystnære.
- **Indre farvande:** Kattegat, Øresund og Bælthavet afgrænset mod Østersøen af Gedser Rev og af Drogden-tærsklen mellem Dragør og Limhamn.
- **Bælthavet:** Området afgrænses mod nord af en linje fra Sjællands Odde til Djursland og mod øst af Gedser Rev. Bælthavet kan underopdeles i det nordlige Bælthav, Lillebælt, Storebælt og det sydlige Bælthav.
- **Lavvandede områder:** Kystnære og åbne områder, hvor vanddybden er mindre end 15 m, og som derfor normalt ikke har permanent lagdeling af vandsøjlen.
- **Dybe områder:** Kystnære og åbne områder, hvor vanddybden er større end 15 m, og hvor der i de indre farvande optræder permanent lagdeling af vandsøjlen.



Dybdeforhold i danske farvande. Den sorte streg angiver de danske kystvande, som de er defineret i EU's Vandrammedirektiv.

Omtegnet efter Aarup (1994).



Hvad er iltsvind?

Iltsvind opstår, når balancen mellem forbrug og tilførsel af ilt i havet tipper til den forkerte side. Det sker, fordi dyr og bakterier på havbunden bruger den ofte begrænsede mængde af ilt hurtigere, end der tilføres nyt. Store mængder af næringsstoffer lægger grunden til dette iltforbrug, men vind, vejr og den fysiske udformning af havområdet har også afgørende indflydelse på, om der opstår iltsvind, og hvor voldsomt det bliver.

Foto: Bent Lauge Madsen.

Figur 2-1

I store dele af Skive Fjord trak vinden i august 2003 svovlbrinteholdigt bundvand op i det iltrige overfladevand. Svovlbrinten blev iltet og omdannet til frit svovl, mens ilten blev forbrugt. Hvide partikler af svovl farvede vandet mælkehvidt, og mange fisk blev fanget i det iltfrie vand og døde.

Foto: Limfjordssamarbejdet.



Iltsvind er ikke noget, man normalt ser med det blotte øje. For de fleste er det noget, der ligger godt skjult under havets overflade. Ofte er det kun biologernes måleudstyr eller dykkernes observationer, der afslører, at noget er galt.

Kun når det går rigtig galt, bliver iltsvindet – eller resultatet af iltsvindet – synligt for alle. Man så det bl.a. i slutningen af august 1997, hvor vandet nærmest var mælkehvidt i den inderste del af Mariager Fjord. En kraftig stank af svovlbrinte fortalte på lang afstand, at her var der noget, der var rivende galt. Og hele Danmark fik billeder af døende ål og fladfisk serveret i avisen og på TV.

Springlag deler vandet

Hvordan opstår iltsvind? Ja, helt kort fortalt sker det, fordi der bliver brugt mere ilt i bundvandet, end der tilføres. Men bag dette simple udsagn ligger der en lang række komplicerede processer og begivenheder, der fører til, at iltsvind udvikler sig, som det gør.

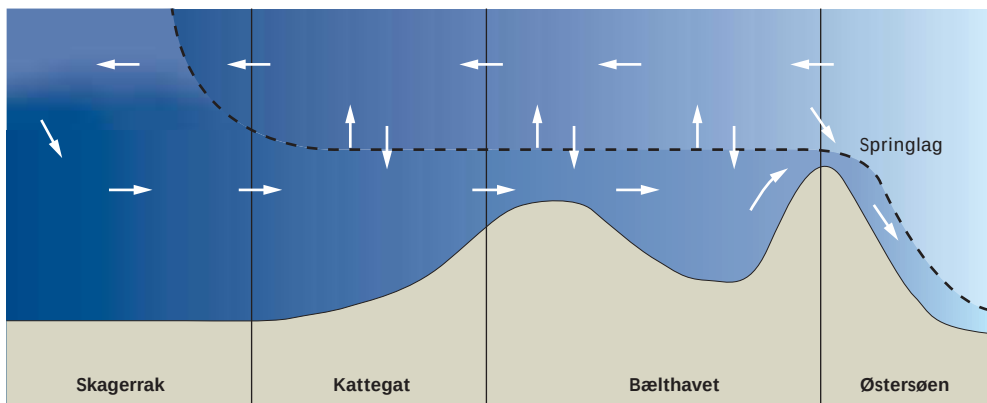
Langt de fleste organismer i vandet, på havbunden og nede i havbunden bruger ilt for at leve og vokse. Alle, lige fra små bakterier til store fisk, er afhængige af ilt.

Planktonalger laver ilt ved fotosyntese i de øverste vandlag. Men ilt kan også komme fra atmosfæren, da luftens ilt bliver opløst i overfladevandet. Det er altså under alle omstændigheder overfladelaget, der forsyner bundvandet med ilt. Og kommer der ikke hele tiden ny ilt til bundvandet, er der fare for, at den begrænsede iltmængde her bliver brugt op. Sker det, opstår der iltsvind.

Om vinteren, når vandet er koldt, og kraftige vinde blander og udskifter bundvandet, er der ingen problemer. Men om sommeren har ilt svært ved at trænge ned til bundvandet.

Figur 2-2

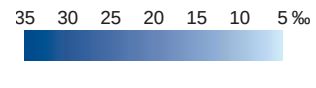
Hovedstrømmene i de indre farvande er vist med pile. Fra Østersøen strømmes ferskere og lettere vand mod nord, og fra Skagerrak strømmes salt og tungt vand mod syd. Nederst ses et snit gennem farvandene. Østersøvandet lægger sig oven på Skagerrakvandet, og de to vandmasser er godt adskilt af et springlag. En vis udveksling af vand finder dog sted mellem lagene. Det giver den karakteristiske gradient i saltindholdet fra nord til syd i både overfladevandet og bundvandet.

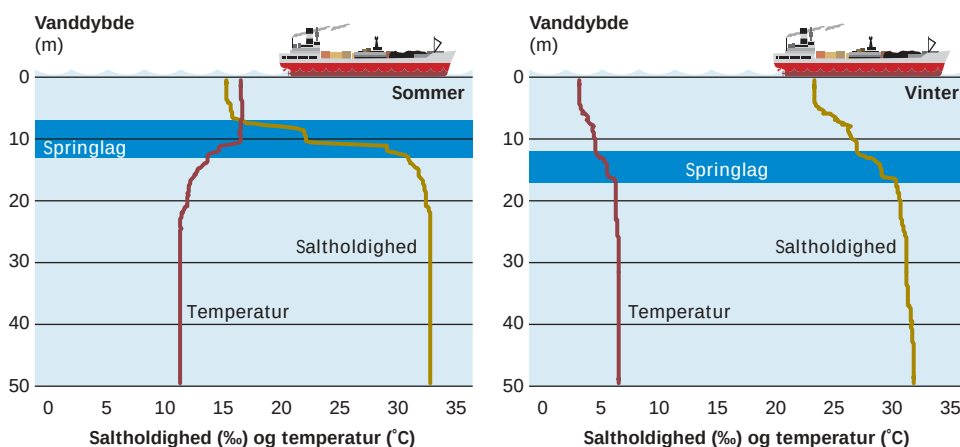


Specielt i de indre farvande, hvor vandmasserne er skarpt adskilt i et øvre og et nedre lag. Mellem de to vandmasser ligger der et kraftigt "låg", som hindrer ilten i at trænge ned i bundvandet. Man kalder låget mellem de to vandmasser for en skilleflade eller et springlag.

Springlaget dannes ved, at vand med forskellig saltholdighed og temperatur lægger sig i to lag med det tungeste vand nederst. Og her er de indre farvande særligt udsatte. Fra syd strømmes det mere ferske og lette vand fra Østersøen nemlig ind i vore indre farvande og lægger sig oven på det mere salte og tunge vand, der kommer fra Nordsøen og Skagerrak (figur 2-2). Der, hvor de to vandmasser møder hinanden i selve vandsøjlen, danner springlaget en skarp grænse mellem dem.

Dykker man ned gennem vandet, ser man tydeligt springlaget flimre. Det ligner varmedis i luften over asfalt på en varm sommerdag. I havet er det et tegn på, at det mere ferske vand møder det salte vand, og at temperaturen ændrer sig. Man mærker også tydeligt, hvordan vandet skifter temperatur, når man glider ned gennem springlaget.





Figur 2-3
Temperatur og saltholdighed
ned gennem vandsøjlen syd
for Ven i Øresund målt hhv.
om sommeren og om vintere-
ren. Springlaget ligger dér,
hvor værdierne ændrer sig
hurtigt med dybden.

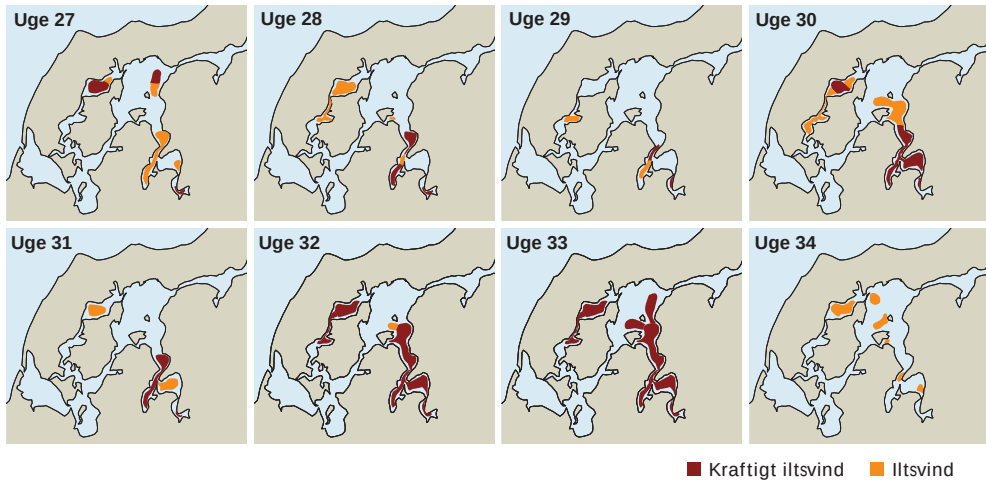
Springlaget er ofte ganske få meter tykt, og målinger ned gennem vandet viser, hvordan saltholdigheden stiger kraftigt, mens temperaturen om sommeren omvendt falder kraftigt i dette tynde lag (figur 2-3).

Des større forskel, der er i saltholdighed og temperatur mellem de to vandlag, des stærkere bliver springlaget. Det betyder, at det bliver sværere at blande overfladevand med bundvand, og at bundvandet bliver kraftigere adskilt fra overfladevandet. Netop om sommeren er springlaget stærkt, fordi solen varmer overfladevandet op og gør det endnu lettere.

I Limfjorden, Ringkøbing Fjord og Nissum Fjord kan der ind imellem opstå en speciel lagdeling ved, at salt vand fra det åbne hav strømmer ind. I stille vejr lægger dette salte vand sig i et meget tyndt lag helt nede ved bunden. Da laget er tyndt, er mængden af ilt i det lille, og derfor kan denne lagdeling give problemer med iltforholdene helt tæt ved bunden om sommeren.

I mange af vore lavvandede fjorde og kystvande er der imidlertid ikke stor forskel på saltindholdet i bundvandet og i overfladevandet. Her er det derfor primært forskellen i temperatur mellem de to vandmasser, der skaber springlaget. Et springlag, der hovedsageligt er skabt af temperaturforskelle, er ikke nær så stærkt som et springlag, der skyldes forskelle i saltholdighed. Faktisk vil en forskel i saltholdighed på kun én promille give springlaget samme styrke som en temperaturforskul på hele seks grader.

I fjordene – eksempelvis i Limfjorden – kan en kraftig sommervind derfor relativt nemt rive et temperatur-springlag i stykker. Vinden blander vandet rundt, forsyner bunden med ilt og kan derved forhindre et truende iltsvind (figur 2-4).



Omvendt kan mangel på vind i kombination med et springlag få så katastrofale følger, som man så i Mariager Fjord i 1997. Her var usædvanligt stille vejr i august måned afgørende for det voldsomme iltsvind, hvor det meste liv i den inderste del af fjorden blev udslettet.

Ilt bliver brugt

Allerede når lyset kommer tilbage i februar og marts måned, vågner planktonalgerne i havet op til dåd og bliver lynhurtigt talrige. De udnytter det rigelige lys nu, hvor solen står højere på himlen, og dagene er blevet længere. Samtidig indeholder vandet mange næringsstoffer, som stammer fra vinterens store afstrømning fra land. Det fører til en forårsopblomstring, hvor milliarder af alger producerer masser af organisk stof i de øverste, belyste vandlag.

Det sker ved fotosyntese, hvor algerne med kuldioxid (CO_2), vand (H_2O) og lys producerer ilt (O_2) og organisk stof, der forsimpelt kan skrives som CH_2O :



Forårsopblomstringen er også startskuddet til et større forbrug af ilt nede ved havbunden. Dels synker algerne ned på bunden, dels bliver de ædt af dyr i vandet. Afføring fra dyr, der æder algerne, og føderester fra dyrene er også føde for havbundens organismer. Det hele svæver rundt og ligner sne, og de sammenklumpede partikler kalder man da også for marin sne (figur 2-5).

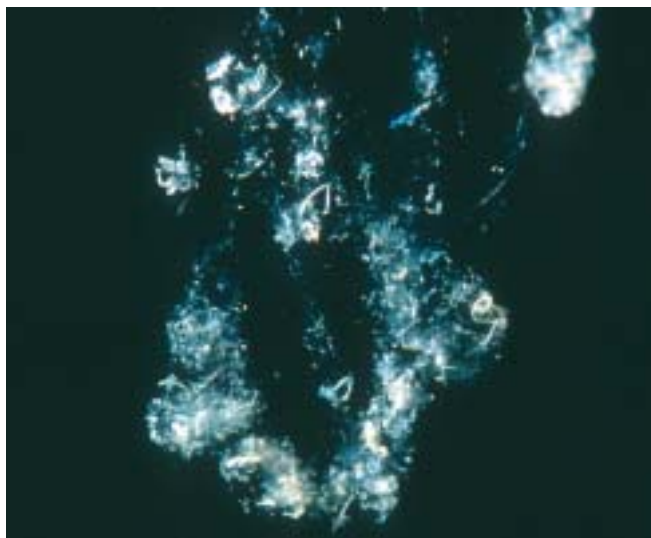
Figur 2-4

Udbredelse af iltsvind i Limfjorden i ugerne 27-34, 2003. Når vinden er for svag til at bryde springlaget og omrøre hele vandsøjlen, opstår der iltsvind i vore fjorde og lavvandede havområder. Omfanget af iltsvind varierer derfor ofte gennem sommeren afhængigt af vindens styrke, og iltsvindet kan komme og gå inden for få dage.

Figur 2-5

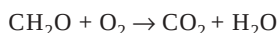
Marin sne, der her består af en blanding af kiselalger, afføring fra vandlopper og bakterier. Diameteren på dette "fnug" er ca. 1 cm.

Foto: Chris Gotschalk.



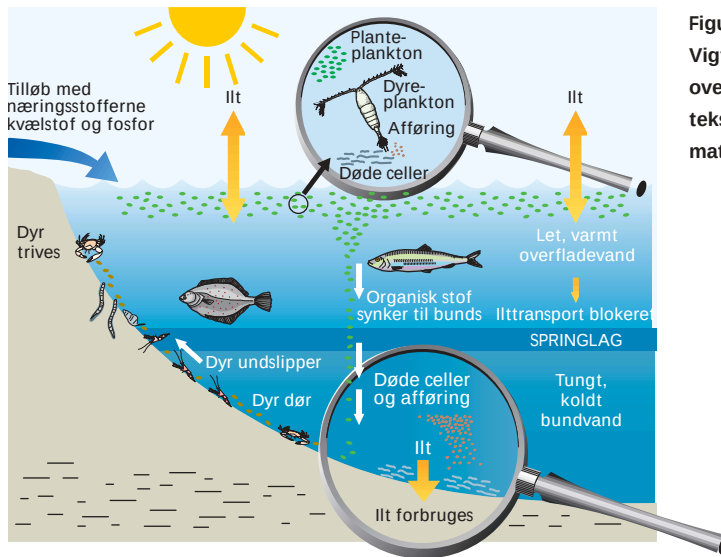
Ved havbunden æder og nedbryder dyr og bakterier alle disse rester, og det kræver ilt. Jo mere organisk stof, der synker ned på bunden og nedbrydes, jo mere ilt bruges der.

Nedbrydningen af organisk stof er den omvendte proces af fotosyntesen. Det organiske stof nedbrydes under forbrug af ilt til kuldioxid og vand:



Gennem sommeren fortsætter algerne med at producere organisk materiale i vandet, hvor der er lys nok til fotosyntese. Lagdelingen af vandsøjlen bliver samtidig styrket, fordi overfladevandet hele tiden bliver varmere. Der sker kun en ringe blanding af vandet, da der ofte kun er ringe vind om sommeren. Den ringe vind betyder også, at havstrømmene langs bunden bliver svagere og derfor kun i ringe grad fornyer bundvandet. Der kommer altså kun lidt ilt ned til bunden i sommerhalvåret. Alger og andre plante- og dyrerester synker derimod nemt ned gennem springlaget og tilfører fortsat føde til dyr og bakterier ved havbunden. Iltforbruget fortsætter altså ufortrødent.

I denne situation, hvor der er lukket af for tilførslen af ilt, mens det organiske materiale stadig synker ned til bundlagene, bliver der hele tiden brugt af den begrænsede mængde ilt i bundvandet. Når det meste af ilten er brugt op, opstår der iltsvind (figur 2-6).



Figur 2-6
Vigtige processer i vandsøjlen over og under springlaget. Se teksten for yderligere information.

Døden ved havbunden

Havbundens dyr er de første, der mærker, at ilten i vandet begynder at forsvinde. Der er forskel på, hvor lidt ilt de forskellige dyr kan tåle, og flugten fra døden ved havbunden følger derfor et karakteristisk mønster.

Man taler om iltsvind, når bundvandet indeholder mindre end 4 mg ilt pr. liter. Her begynder de første fisk at flygte.

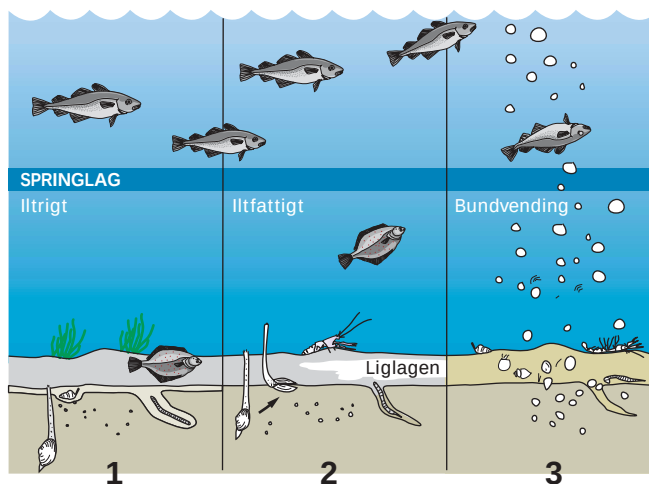
Kommer iltindholdet under 2 mg pr. liter, kalder man det for kraftigt iltsvind. Nu begynder krabber, ål, rejer og jomfruhummere at forlade deres skjul i og ved havbunden. Fiskere oplever derfor ofte, at de fanger flere af disse dyr lige før et kraftigt iltsvind.

Er ilten i bundvandet under 2 mg pr. liter, begynder også dyr, der lever nedgravet i bunden, at blive stressede. De kan ikke længere pumpe ilt nok ned i deres gange og kravler op af havbunden i et sidste forsøg på at få fat i den smule ilt, der endnu er tilbage i bundvandet. Pludselig ser man børsteorme, muslinger og andre dyr, der under normale forhold lever nedgravet i havbunden, ligge oven på den (figur 2-7 og 3-11).

Mens ilten forsvinder fra bundvandet, begynder svovlbrinte i havbunden langsomt at trænge op mod bundens overflade. Svovlbrinte er dødeligt giftigt for dyr og planter. Det virker på samme måde som kulilte eller blåsyre, der blokerer en del af åndedrætssystemet.

Figur 2-7

Udvikling af iltsvind. Når ilten begynder at forsvinde i bundvandet (2), svømmer fisk væk. Dyr, der lever nedgravet i bunden, stikker deres ånderør højere op eller forlader deres nedgravede liv i et forsøg på at finde mere ilt oppe på havbundens overflade. Ved en bundvending (3) frigives svovlbrinte pludseligt til vandet, og dyr og planter dør.



Normalt er svovlbrinte gemt godt af vejen nede i havbunden, hvor det ikke gør skade. Det er havbundens store mængder af iltede jernforbindelser, der binder svovlbrinte og holder det tilbage (se kapitel 4). Men når iltforholdene i bundvandet bliver dårlige, forsvinder de iltede jernforbindelser i havbunden. Havbunden bliver sort, og svovlbrinte trænger nu helt op til bundens overflade.

Det er på dette tidspunkt, at de hvide svovlbakterier træder ind på scenen. Svovlbakterierne lever populært sagt af den svovlbrinte, der er i havbunden. De bruger den smule ilt, der stadig er i bundvandet, til at ilte den svovlbrinte, der kommer nede fra havbunden.

De hvide svovlbakterier kan dække hele havbunden. Det ser ud, som om der er bredt et hvidt tæppe ud over havbunden. Man kalder dette tæppe for et liglagen. Det er et ganske uhyggeligt syn at møde, når man dykker i områder, der er ramt af iltsvind (figur 2-8).

Svovlbakterierne er sidste skanse, før det går helt galt. De holder svovlbrinten nede i havbunden. Forsvinder den sidste smule ilt fra vandet, forsvinder svovlbakterierne også, og så har svovlbrinte fri adgang til vandet oven over.

Når svovlbrinten kommer op i vandet, slår det alle dyr ihjel, ligesom planterne også tager skade. Ålegræs, som er en vigtig plante i mange kystnære områder, overlever f.eks. ikke svovlbrinte i vandet. Kommer bladene i kontakt med svovlbrinte, afstødes de (se kapitel 3).

Som udviklingen er beskrevet her, sker der en snigende forværring, efterhånden som mængden af ilt i bundvandet svinder. Men døden i havbunden kan også slå til meget pludseligt. Det sker f.eks. ved en bundvending. Man taler om bundvending, når store gasbobler i havbunden slipper løs og river en del af havbunden med sig op gennem vandet. Boblerne er metangas, der er produceret af bakterier længere nede i havbunden. Når de bobler op i vandet, trækker de en del af den giftige svovlbrinte med sig. Sker det, kan man fra det ene øjeblik til det andet opleve, at fisk højt oppe i vandet bliver slået ihjel af svovlbrinte. De døde fisk tiltrækker måger, og ser man en varm sommerdag en stor flok måger, der samler sig og slår sig ned over et begrænset område i fjorden, har de måske fået føden serveret af en lokal bundvending (se figur 3-29).

Figur 2-8

Hvide svovlbakterier trækker et hvidt lagen henover havbunden.

Foto: Nanna Rask, Fyns Amt.

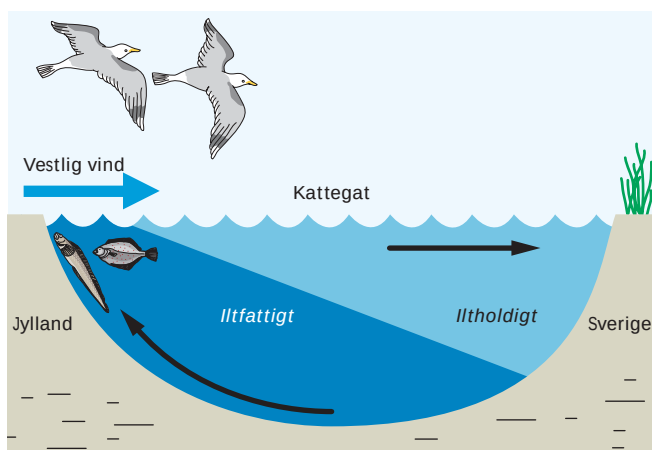


Iltfattigt eller iltfrit vand kan også pludselig strømme ind på helt lavt vand, hvor man ellers normalt ikke ser iltsvind. Man så det bl.a. i sensommeren 2002, hvor døde fisk pludselig skyllede op på stranden langs Ålborg Bugt, i Kalø Vig og i den inderste del af Vejle Fjord. Fralandsvind, som oftest vestenvind, blæser overfladevand bort fra kysten, og bundvand erstatter det overfladevand, som vinden har blæst væk. På den måde kan vestenvind sidst på sommeren trække iltfrit bundvand fra større vanddybder ind på lavere vand ved de østvendte kyster (figur 2-9).

Figur 2-9

Når vestenvinden blæser overfladevandet bort fra østvendte kyster, tipper springlaget. Det trækker det iltfattige og evt. svovlbrinteholdige bundvand ind mod kysten. Det skete bl.a. i oktober 2002 ved den nordjyske Kattegatkyst på strækningen fra Øster Hurup til nord for Hals. Mange steder lå døde fisk spredt i tusindtal, så langt øjet rakte.

Foto: Christen Jensen, Nordjyllands Amt.



Årets gang i havet

Det er en kombination af næringsstoffer, de fysiske forhold i de danske farvande og vejrforholdene, der udløser iltsvind. Det er næringsstofferne, der er byggestenene til et iltsvind, mens det er vejr-situationen, der bestemmer, om det opstår, og hvor voldsomt det slår igennem.

Der er forskel på de fysiske forhold i hhv. fjorde og lavvandede kystområder på den ene side og i de dybere, mere åbne farvande på den anden. Det betyder, at iltsvind udvikler sig forskelligt disse steder. Man kan nemmest illustrere samspillet mellem disse faktorer ved at følge årstidernes skiften i de forskellige havområder.

Om vinteren er vandet koldt, omsætningen lav og iltforbruget tilsvarende lille. I lavvandede farvande, hvor dybden er mindre end 15 m, er der ikke stor forskel på vandets vægtfylde fra overflade til bund. Vinden blander derfor nemt vandet op, og det bringer ilt ned til bundvandet og til havbunden.

I de åbne indre farvande, der er dybere end 15 m, finder man en kraftig lagdeling selv om vinteren. Det skyldes forskellene i saltholdighed mellem overflade- og bundvand. Da lagdelingen er stærk, kan vinterens kraftige vinde kun i ringe grad blande iltrigt overfladevand ned i bundvandet. Vinterstormene sætter derimod gang i havstrømmene, som udskifter bundvandet i de indre farvande med iltrigt vand fra Skagerrak. Kraftige vandstrømme i snævre farvande som Storbælt sætter også gang i en omrøring af vandsøjlen, så noget af det iltrige overfladevand bliver blandet ned i bundvandet. Selv om vinden i sig selv ikke kan blande det iltrige overfladevand ned i bundvandet, kommer der på den måde alligevel masser af ilt i hele vandsøjlen også i de åbne farvande.

Om vinteren står solen samtidig lavt på himlen, og algernes vækst er næsten gået i stå. Kun få partikler synker ned til bunden, og forbruget af ilt ved havbunden er derfor lavt. På land står plantevæksten også næsten i stampe, og planterne holder derfor ikke effektivt på jordens næringsstoffer. Når regnen falder, eller når sneen smelter, vaskes der mange næringsstoffer ud af jorden, og en stor del af dem løber med vandløbene ud i kystvandene.

I det tidlige forår er næringsstofferne så tilgængelige for algerne, når solen sætter skub i deres vækst. Fotosyntesen og væksten går i gang for fuld kraft. Og i takt med, at flere partikler synker ned på havbunden, stiger forbruget af ilt i bundvandet.

Lavvandede fjorde og kystnære områder modtager særligt mange næringsstoffer fra land og er derfor meget produktive. Forbruget af ilt ved bunden er derfor også relativt større her

Figur 2-10

Vandløb transporterer næringsstoffer fra land til kystvandene.

Foto: Bent Lauge Madsen.



end i de dybere havområder. På grund af det lave vand bliver overfladevandet relativt hurtigt varmet op i løbet af foråret og sommeren. Jo varmere vejret er, jo varmere bliver overfladevandet, og jo stærkere et springlag opstår der mellem overflade- og bundvand.

I juli og august kan kombinationen af lavt vand, stor produktion og en lang periode med varmt og stille vejr give alvorlige problemer med iltforholdene i disse områder. En væsentlig grund til, at problemerne opstår så tidligt, er, at det bundlag, som springlaget afskærer, har et forholdsvist lille volumen og derfor relativt hurtigt bliver tømt for ilt. Et iltsvind kan derfor udvikle sig i løbet af få dage efter, at et springlag er dannet (se også boks 2-1).

Balancen mellem sol og vind gennem sommeren er altså afgørende for forsyningen af ilt til bundvandet i de lavvandede områder. Da det primært er forskellen i temperatur mellem overfladevand og bundvand, der skaber springlaget,

Figur 2-11

Sommer, sol og næsten ingen vind er de ideelle betingelser for udvikling af iltsvind i mange fjorde og lavvandede havområder. Her er en dansk fjord en tidlig sommermorgen.

Foto: Ole Schou Hansen.



er det ikke særligt stærkt. En kraftig sommervind kan nemt rive det i stykker og blande vandet op (figur 2-4).

I løbet af efteråret aftager faren for iltsvind i de lavvandede fjorde og kystnære områder i takt med, at temperaturforskellen mellem overfladevand og bundvand aftager.

Forholdene er anderledes i Kattegat, Storebælt og andre dybe, åbne indre farvande. Her er springlaget primært skabt af forskellen mellem saltindholdet i Østersø vandet og Nord sø vandet (hhv. 8 og 34‰). Springlaget bliver yderligere forstærket gennem sommeren, når solen varmer overflade vandet op, og selv en kraftig sommervind er magtesløs og kan ikke blande vandmasserne. Storme sikrer primært frisk, iltholdigt vand ved at skabe en bundstrøm fra nord. Men om sommeren er der ikke mange stærke vinde, og indstrømningen af nyt bundvand fra Skagerrak til Kattegat og Bælthavet er derfor ringe. Om sommeren kommer der faktisk mindre end halvt så meget bundvand, som der kommer med indstrømningen om

Figur 2-12

En god efterårs- eller vinterstorm kan nedbryde et springlag, hvis det ikke er for stærkt. I Kattegat sørger efterårsstormene også for, at nyt iltholdigt bundvand strømmer ind fra Skagerrak.

Foto: Gunni Ærtebjerg.





Figur 2-13
Iltsvind er normalt et sommerfænomen, men kan også opstå om vinteren, når isen som her på Isefjorden lukker af for iltforsyningen.

Foto: Steen Weber.

vinteren. Forsyningen af ilt til bundvandet er altså begrænset. Selv langt hen på efteråret kan de kraftige efterårsstorme ikke blande det iltrige overfladevand længere ned end 15-20 m, selv om temperaturen i overfladevandet ikke er meget højere end temperaturen i bundvandet. Men de kraftige efterårsstorme sætter derimod gang i de havstrømme, der får det iltrige bundvand til at strømme ind fra Nordsøen og Skagerrak.

Da iltforbruget i bundvandet i de dybe, åbne indre farvande både er relativt mindre og dets volumen relativt større end i de lavvandede fjorde og kystvande, er iltsvind her en langsomt fremadskridende proces, der er flere måneder undervejs. I de åbne farvande opstår iltsvind derfor ofte sent på sommeren – sidst i august og i september – ja, nogle gange så sent som i november.

Både i de dybe og i de lavvandede danske havområder er iltsvind normalt et sommerfænomen, men i lavvandede fjorde kan der faktisk også opstå iltsvind under lange isvintre. Man har eksempelvis oplevet iltsvind i Isefjord og Roskilde Fjord efter et længere tids isdække. Isen har samme virkning som springlaget. Den forhindrer omrøring af vandet og lukker samtidig af for tilførsel af ilt.

Boks 2-1

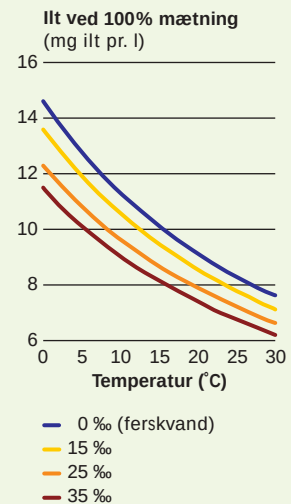
Vands indhold af ilt

Størsteparten af den ilt, som er opløst i havet, kommer fra atmosfæren. Når mængden af ilt i vandet er i ligevægt med ilt i atmosfæren, er havvandet 100 % mættet. Men selve mængden af ilt i fuldstændigt iltmættet vand er ikke nødvendigvis den samme i alle tilfælde. Vandets temperatur og saltholdighed er nemlig afgørende for, hvor meget ilt der er opløst i vandet, når det er mættet med ilt. Jo varmere og jo saltere vandet er, jo mindre ilt er der opløst i vandet, selv om der er iltmætning (se figuren nederst i boksen).

Når temperaturen i lavvandede områder stiger i løbet af foråret og sommeren (fra ca. 0 til ca. 20°C) betyder det derfor ikke kun, at forbruget af ilt stiger. Det betyder også, at der bliver en relativt mindre mængde ilt til rådighed for de iltforbrugende organismer. Vandtemperaturen vil altså i sig selv medvirke til, at iltsvind opstår forholdsvis hurtigt under disse forhold.

Omvendt rummer det ret salte og kolde bundvand i de dybe, åbne indre farvande forholdsvis meget ilt, hvilket sammen med det større volumen medvirker til, at iltsvind er en mere langsomt fremadskridende proces i disse områder. Samtidig ændres temperaturen fra vinter til sommer kun fra henholdsvis 4-5°C til 12-13°C.

Fisk og bunddyr reagerer i højere grad på, hvor iltmættet vandet er, end på hvor stor en mængde ilt, der er opløst i det. Derfor vil dyrene opleve en 50 % iltmætning ens ved f.eks. 10 og 20°C, selvom der reelt er opløst en mindre mængde ilt i vandet ved 20°C.



Vands indhold af ilt ved 100 % mætning ved forskellige temperaturer og saltholdigheder (her angivet i ‰).

Foto: Peter Bondo Christensen.



Iltsvind påvirker planter og dyr

Iltsvind ændrer livsbetingelserne for havbundens planter og dyr, så de forsvinder fra de ramte områder. Den biologiske mangfoldighed bliver derfor mindre i vore farvande, og det tager ofte lang tid, før det normale liv er tilbage. Selv om fisk, fugle og havpattedyr ikke påvirkes direkte af iltsvind, bliver deres fødegrundlag ændret, og iltsvind kan derfor virke langt op i fødekæden.

Foto: Peter Bondo Christensen.

Figur 3-1

Ålegræsset kan danne tætte, grønne enge under havoverfladen.

Foto: Peter Bondo Christensen.



Iltsvind og planter

Havets planter skal som de fleste andre organismer have ilt for at leve. De laver godt nok selv ilt ved fotosyntese, men forbruger også ilt, når deres celler ånder. Det er primært større fastsiddende alger og ålegræs ved havbunden, der er i fare for at dø eller tage skade ved længere perioder med iltsvind.

Ålegræsset dør ved iltmangel

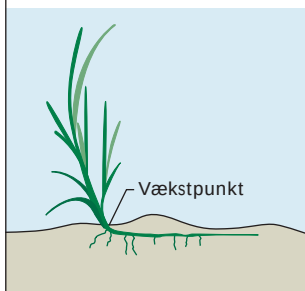
Med jævne mellemrum ser man da også områder med ålegræs langs vore kyster, der pludselig dør i varme, stille somre med iltsvind. Planternes skud med blade løsner sig fra stængelen og flyder rundt i overfladen. Det ser næsten ud, som om nogen har svunget en stor le gennem ålegræsengene. Stikker man hovedet under vandet, kan man se, at planternes skud er afstødt lige over havbunden.

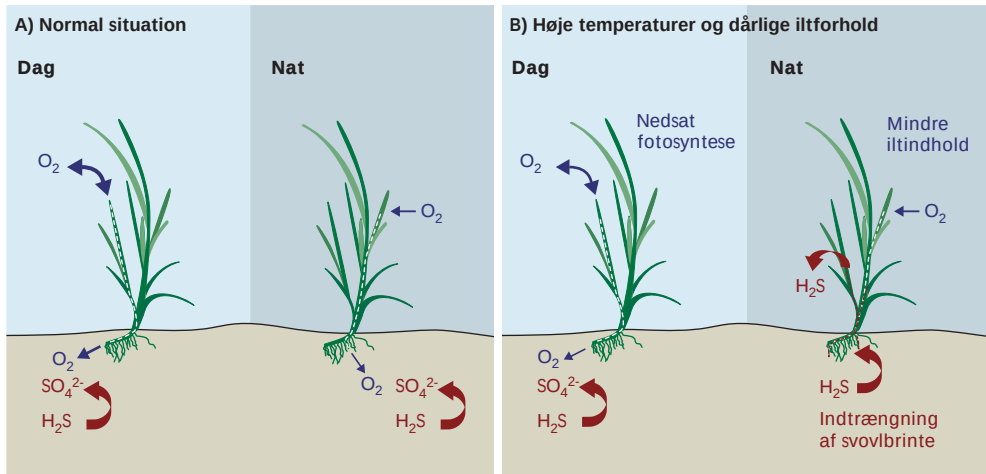
Ålegræs er nemlig bygget op, så stængelen ligger nedgravet i havbunden. Herfra stikker bladene op i vandet (figur 3-2). Mellem bladene og stængelen – altså lige over havbunden – sidder ålegræssets vækstpunkt, som er meget følsomt. Påvirkes vækstpunktet af iltfrit vand med svovlbrinte, rådner det, og bladene brækker af stængelen og driver væk.

Præcist hvad planten dør af, ved man ikke, men der er flere teorier. Cellerne i vækstpunktet dør måske simpelthen af iltmangel. Det kan også være, at den giftige svovlbrinte slår cellerne ihjel. Endelig kan giftige stofskifteprodukter, som ålegræsset selv danner under iltfrie forhold, have en skadelig virkning på planten.

Figur 3-2

Ålegræs har stængelen nede i havbunden. Herfra skyder skuddet med bladene op i vandet. Plantens vækstpunkt sidder lige over havbunden mellem jordstængelen og bladene.





Om dagen producerer ålegræssets blade ilt. En del af iltten trænger gennem plantens luftvæv helt ned i rødderne og forsyner hver enkelt celle. Er der mere ilt inde i planten end i omgivelserne, frigives noget af det fra planten. Det sker bl.a. fra rødderne, som frigiver iltten til havbunden. På den måde kan planten afgifte sit nærmiljø ved at ilte den giftige svovlbrinte, der findes i havbunden (figur 3-3A). Om natten, når planten ikke selv producerer ilt, optager den ilt fra vandet gennem sine blade og transporterer det videre til alle celler gennem sit luftvæv.

Er der dårlige iltforhold i det vand, der omgiver ålegræsset, kan planterne komme til at mangle ilt. Det sker specielt om natten, hvor de ikke selv producerer ilt. Under sådanne forhold kan svovlbrinte fra havbunden trænge ind gennem rødderne og skade planten (figur 3-3B).

Høje temperaturer i vandet forstærker det stress, som lave iltkoncentrationer udsætter ålegræsset for. Stiger temperaturen, stiger plantens stofskifte og dens forbrug af ilt, og planten bliver derfor endnu mere sårbar.

Ålegræsset forsvinder fra store områder

I de særligt varme somre i 1992 og 1994 var der udbredte iltsvind, og store bestande af ålegræs døde mange steder i de danske farvande. F.eks. forsvandt ålegræsset fra store arealer i Det Sydfynske Øhav i 1994 (figur 3-4). Det samme var tilfældet for flere ålegræsbestande i andre kystvande omkring Fyn, i de sønderjyske fjorde og i Limfjorden.

Figur 3-3

Gastransport i ålegræs.

A) viser en situation med god iltforsyning. Plantens fotosyntese forsyner rødderne med ilt om dagen, mens bladene om natten optager ilt fra vandet. Både om dagen og om natten transporteres ilt ned til rødderne, så der er ilt til cellernes respiration. Et overskud af ilt inde i planten frigives til havbunden, hvor det omdanner det giftige svovlbrinte (H_2S) til sulfat (SO_4^{2-}).

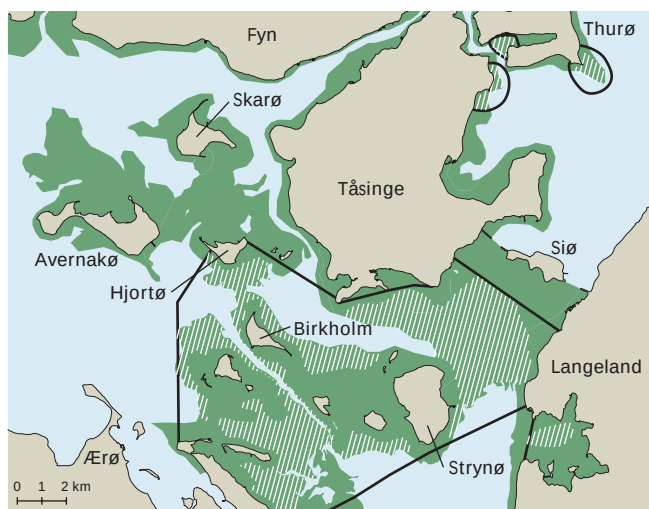
B) viser en situation med dårlige iltforhold, høje temperaturer og svagt lys. Her er fotosyntesen nedsat, og om natten er der så lidt ilt, at der trænger svovlbrinte ind i planten fra havbunden. I planten bliver det transporteret op igennem de celler, der normalt transporter ilt ned til plantens rødder.

- Områder med ålegræs i foråret 1994
- ▨ Områder hvor ålegræsset gik meget tilbage efter iltsvindet i august 1994

Figur 3-4

Udbredelse af ålegræs i dele af Det Sydfynske Øhav før og efter iltsvindet i 1994. Efter iltsvindet blev ålegræsset kun opmålt inden for den sorte linie, så det er kun i det område, tilbagegangen er registreret.

Data fra Fyns Amt.



Ålegræsbestande forsvandt også fra Mariager Fjord under iltsvindet i sensommeren 1997. I 2000 forsvandt store områder med ålegræs helt fra den nordlige del af Odense Fjord, og i 2001 var Århus Bugt ramt af kraftige iltsvind, hvor de dybest voksende ålegræsbestande forsvandt.

Det er vigtigt at understrege, at man ikke direkte kan påvise, at iltsvind var årsagen til de store tab af ålegræs de enkelte år. Men vores viden om, hvordan iltsvind påvirker ålegræs, og fundet af sorte, døde jordstængler på steder, hvor der tidligere har vokset ålegræs, peger på, at planterne er blevet slået ihjel af iltsvind – måske sammen med et udslip af svovlbrinte.

Ålegræs og lys

Man ved, at en øget mængde næringsstoffer i vore farvande op gennem 1970'erne og 1980'erne har forringet lysforholdene og dermed indskrænket det område, hvor ålegræs kan vokse. Siden slutningen af 1980'erne og frem til i dag er der imidlertid en tendens til, at lysforholdene både er blevet bedre i de åbne havområder og i fjordene. Men det har ikke fået ålegræsset til at vokse ud på større dybder igen. Faktisk er ålegræssets dybdegrænse i fjordene blevet mindre, og dybdegrænsen langs de åbne kyster er uændret siden slutningen af 1980'erne. Man ser derfor kun sjældent en sammenhæng mellem ålegræssets dybdegrænse og lysforholdene i et bestemt område.

Der er desværre ikke data, der kan fortælle, hvor meget iltsvindshændelser direkte har medvirket til planternes til-

bagegang, eller til at planterne ikke har bredt sig mere, selv om lysforholdene er blevet bedre. Men det er sandsynligt, at hyppige iltsvind på dybere vand kan medvirke til at forhindre ålegræsset i at brede sig.

Hvor hurtigt kommer ålegræsset tilbage?

Ålegræs spreder sig dels ved frø, dels ved at sætte nye skud fra eksisterende bestande. Førstnævnte er kønnet formering, mens sidstnævnte kaldes for vegetativ formering. De fleste frø falder tæt ved moderplanten, og der kan ligge kolossalt mange frø i havbunden under en ålegræsbevoksning. Undersøgelser har vist, at der for hver kvadratmeter kan være flere tusinde frø.

Strøm og bølger vil sprede nogle af frøene til naboområder længere væk, hvor de kan etablere nye bestande, hvis betingelserne er optimale. Men de små frøplanter har kun en meget ringe chance for at overleve i de danske farvande, hvis de står ubeskyttet. Frøplanter, der vokser på en bar havbund, er særligt udsatte. Her graver bølger i havbunden, og sand i bevægelse slider på de spæde planter.

Et eksempel på, hvor svært det kan være for en ålegræsbevoksning at gendanne sig ved frø, finder man i Odense Fjord. I den nordlige del af fjorden forsvandt ålegræsset fuldstændigt i 2000. Men i det tidlige forår 2001 spirede en mængde frø, og havbunden lignede en nysået græsplæne. Men mange af frøplanterne døde hurtigt, og i september måned var næsten alle frøplanter forsvundet igen (figur 3-5).

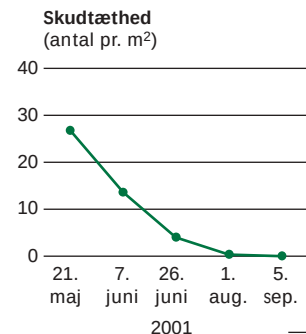
I 1994 forsvandt ålegræsset ligeledes fra Det Sydfynske Øhav. Men her var udviklingen en anden. Allerede to år senere var planterne tilbage. Den hurtige genvækst skyldes sandsynligvis, at den tidligere ålegræsbestand også her efterlod en stor mængde frø. Samtidig holdt spredte overlevende planter og et tæt net af stængler og rødder sammen på havbunden. Denne kombination gav efter alt at dømme den nødvendige beskyttelse, så de sårbare frøplanter overlevede.

Ved den vegetative formering sætter planterne udløbere, der kan vokse op til nye planter. Men det er en meget langsom måde at sprede sig på. En bestand af ålegræs vokser kun ca. 16 cm ud til siderne i løbet af et år, og det kan derfor tage årtier, før en ødelagt bestand er genetableret alene ved vegetativ formering.

Det vil altså ofte være en langvarig proces for naturen at gendanne tabte ålegræsbestande. Men som man oplevede det i Det Sydfynske Øhav, kan en ålegræsbestand dog vende forholdsvis hurtigt tilbage, hvis forholdene er optimale.

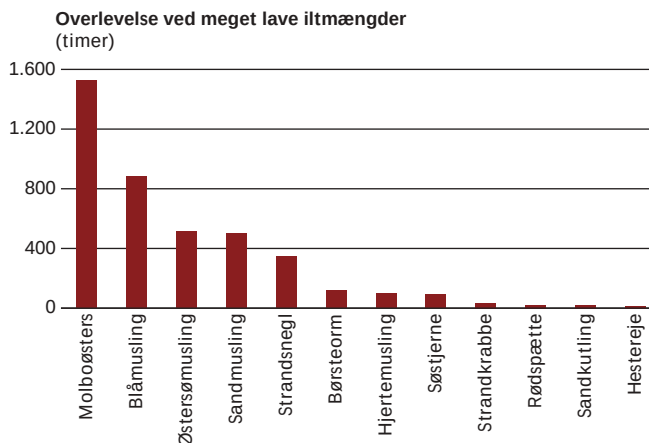
Figur 3-5

Nye ålegræs-frøplanter forsvandt hurtigt på lavt vand (to meters dybde) i den nordlige del af Odense Fjord i 2001.



Figur 3-6

Forskellige dyrs evne til at tåle meget lave iltmængder inden de dør.



Iltsvind og bunddyr

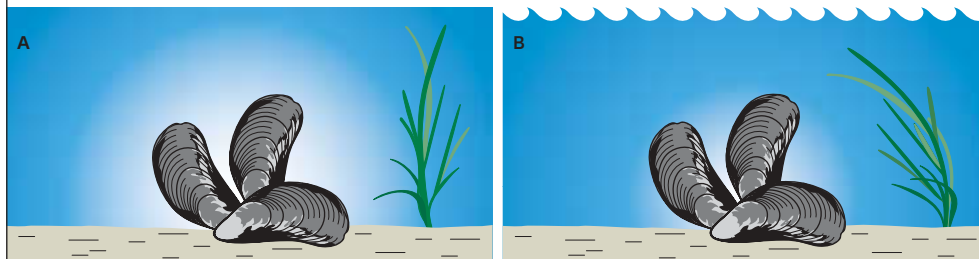
Dyr, der lever på eller i havbunden, er ofte udsat for lave iltkoncentrationer. Mange bunddyr kan derfor på forskellige måder klare iltmangel, og et iltsvind skal være både kraftigt (dvs. under 2 mg ilt pr. liter) og vare flere uger, før det slår de mest hårdføre bunddyr ihjel (figur 3-6). Men kommer vandets iltindhold under 0,3 mg ilt pr. liter, går det helt galt. Også selv om iltsvindet kun varer kort tid.

Varigheden af et iltsvind og iltsvindets styrke er altså to vigtige faktorer. Men bundvandets bevægelse spiller også ind. Står det iltfattige bundvand stille, fjerner dyrenes iltforbrug den ilt, der er lige omkring dyret. Bevæger bundvandet sig derimod, vil dyrene have en bedre overlevelschance. Selv om der kun er lidt ilt i vandet, vil vandbevægelsen tilføre ny ilt, som erstatter den ilt, dyrene har brugt (figur 3-7).

Vandets temperatur er også en væsentlig faktor, da dyrenes behov for ilt vokser i takt med, at temperaturen stiger. Øget vandtemperatur vil altså udsætte dyrene for et stigende iltstress.

Figur 3-7

Står vandet omkring dyrene stille (A), opstår der en zone, hvor iltindholdet er lavere end i resten af vandet. Bevæger vandet sig (B), forsvinder zonen næsten, og iltforholdene omkring dyrene bliver bedre.



**Figur 3-8**

Snit gennem en havbund med orme og ormegange. Ormegangene fremtræder lyse, fordi dyrene pumper iltrigt bundvand ned i deres gange. Herved iltes den jernsulfid, der ellers farver havbunden sort.

Foto: Erik Christensen.

Endelig er mængden af svovlbrinte afgørende, da svovlbrinte slår de fleste bunddyr ihjel, hvis det frigives fra havbunden. Mange dyr, der lever nedgravet i havbunden, kan imidlertid på forskellig vis ilte og dermed uskadeliggøre svovlbrinte i deres umiddelbare nærhed. Det sker bl.a. ved, at de pumper iltrigt bundvand ned i havbunden (figur 3-8).

Hvilke dyr bliver ramt?

Forskellige faktorer sætter altså rammerne for det stress, bunddyrene udsættes for under et iltsvind. Men hvordan klarer de forskellige dyr sig egentlig? For det meste er dyrenes størrelse og aktivitetsniveau afgørende for deres evne til at modstå iltsvind. Store og bevægelige dyr lider ofte skade allerede ved et ret højt iltindhold, mens små og fastsiddende eller nedgravede dyr bedre kan tåle et lavt indhold.

Generelt kræver større dyr en højere koncentration af ilt. Det skyldes, at store dyr har en mindre overflade i forhold til deres kropsvolumen end små dyr. De store dyr kan derfor optage forholdsvis mindre ilt, da ilten skal ind gennem overfladen. Samtidig bevæger de store dyr sig ofte mere og bruger derfor mere ilt.

Når indholdet af ilt begynder at falde i bundvandet, kravler mange af de dyr, der normalt lever nede i selve havbunden, op på overfladen. Andre skyder deres ånderør højere op (figur 3-11). Og dyr, der lever på havbunden, bruger alle kneb for at komme lidt højere op i vandsøjlen, hvor der er en smule mere ilt. Søstjerner hæver sig eksempelvis op på deres armspidser, men kan som andre dyr også kravle op på forhøjninger som sten eller planterester.

Figur 3-9

Jomfruhummer på natlig fouragering på havbunden.

Foto: Henrik Manley.



Mange af de store dyr er i stand til at bevæge sig væk fra et iltsvindsområde. Det gælder f.eks. en del krebsdyr, der generelt er mere følsomme over for et lavt iltindhold end andre bunddyr. Jomfruhummeren er et eksempel (figur 3-9). Den flygter, hvis iltindholdet bliver for lavt, men falder iltindholdet ned til omkring 2 mg ilt pr. liter, dør jomfruhummeren ligesom mange fisk.

Figur 3-10

Molbøsters er en af de muslinger, der klarer iltsvind bedst. Muslingerne her er sigtet fra en bundprøve taget i Kattegat.

Foto: Anders Engell-Kofoed.



De mindre dyr er ofte mindre mobile, og de har derfor udviklet evnen til at modstå lave iltkoncentrationer. Muslinger og snegle er f.eks. temmelig hårdføre (figur 3-10). De tåler lavere iltindhold og kan leve længere tid under sådanne forhold. Muslinger, der ikke har krebsdyrenes mulighed for at stikke af, kan ofte tilpasse sig iltsvind ved at ændre deres stofskifte, så de dels vokser mindre, og så en større del af stofskiftet foregår uden forbrug af ilt. På den måde nedsætter de deres iltforbrug i en begrænset periode. Den samme tilpasning har man observeret i studier af slangestjerner.

Børsteorme og trådregnorme er også meget hårdføre. Børsteormene har en meget stor overflade i forhold til størrelsen af deres krop, og ormene kan optage ilt gennem hele deres overflade. Men ormene er også i stand til at ventilere deres rør eller gange kraftigere og pumpe mere vand med ilt ned omkring sig, når iltforholdene er dårlige. Iltindholdet skal helt ned under 0,3 mg pr. liter, før disse dyr bukker under.



Når man ser børsteorme ligge døende eller døde på havbunden, er det derfor et tegn på, at der stort set intet ilt er tilbage i bundvandet (figur 3-11).

Den største modstandsdygtighed over for iltsvind finder man blandt de bunddyr, der er mindre end 1 mm. Flere undersøgelser har samtidig vist, at netop i det livsstadium, hvor bunddyrene sætter sig på bunden efter at have levet som larver, er de meget modstandsdygtige over for et lavt iltindhold.

Men varer iltsvindet i for lang tid, ligger alle de dyr, der ikke er flygtet, livløse tilbage på havbunden for til sidst at rådne bort.

Hvor hurtigt kommer dyrene tilbage?

Der lever ikke bunddyr i områder med konstant iltsvind. Og områder, der hyppigt udsættes for iltsvind, har kun en meget artsfattig bundfauna. Man kan sammenligne det med skovbrande på landjorden. Brænder et område hyppigt, når der aldrig at vokse nye træer op, og der bliver aldrig dannet stabile økosystemer.

I områder, der kun en gang imellem bliver ramt af kraftige iltsvind, vil bunddyrene vende tilbage efter et stykke tid. Der er mange faktorer, der bestemmer, hvilke dyr der vender tilbage, hvor hurtigt det går, og om der genopstår et normalt samfund af bunddyr.



Figur 3-11

Sandmuslinger lever normalt dybt nedgravet i havbunden, men kravler helt op til overfladen og stikker deres ånderør op i vandet for at få en smule ilt, når iltsvindet bliver alvorligt (øverste billede). Døde børsteorme på havbunden fortæller, at alle dyr er slået ihjel (nederste billede).

Foto: Peter Blanner,
WWF Verdensnaturfonden.



Figur 3-12
Bundprøve fra den dybe del af Mariager Fjord ("Dybet"). Her er konstant iltfrit, bunden er sort, og der lever ingen bunddyr.

Foto: Nina Reuss.

Figur 3-13
Friskfangede jomfruhummere i Østerby Havn på Læsø.

Foto: Ole Schou Hansen.



Størrelsen af det område, der er ramt af iltsvind, er afgørende for, hvordan indvandringen sker. Hvis iltsvind har ramt et område, der er mindre end omkring 100 m², kan voksne dyr ofte indvandre direkte fra naboområderne. På den måde kan de genetablere et nyt samfund relativt hurtigt – ofte inden for et enkelt år.

Hvis området derimod er mere end 500 m², kan en stor del af dyrene kun vende tilbage som larver fra en bestand af dyr i et nærtliggende område. Larverne spredes med havstrømme og skal senere etablere sig og vokse op i det ramte område. Det er en meget langsom form for genvækst, og det kan tage flere år, før et samfund bliver genskabt på den måde. Hastigheden for genvækst er bl.a. bestemt af, hvilke larver der er i vandet, hvor mange larver der er til stede, og hvor hurtigt de enkelte arter vokser. Det tager f.eks. 4-6 år, før et samfund med voksne individer af slangestjernen *Amphiura* er tilbage, mens et samfund af blåmuslinger etablerer sig i løbet af et par år. Flere af de store bunddyr bliver både 10 og 20 år gamle, så det kan tage lige så mange år at genoprette et samfund med den oprindelige aldersfordeling.

De omfattende iltsvind i 1986 og 1988 udryddede jomfruhummere i store områder af det sydlige Kattegat. Fiskerne i Gilleleje prøvede årligt, om hummerne var kommet tilbage, men først i slutningen af 1990'erne, dvs. efter 10-12 år, var der så mange store dyr, at det igen kunne betale sig at fiske efter jomfruhummere i disse områder (figur 3-13).

Iltsvind og ændringer i bunddyrsamfundene

Det er svært at forudse virkningerne af et iltsvind på et samfund af bunddyr i detaljer. Om arter forsvinder i kortere tid, i længere tid eller permanent, og om nye arter kommer til. Det er derfor også svært at sige noget om, hvordan sammensætningen af dyr ændrer sig på kort eller længere sigt.

Slutresultatet er bl.a. styret af et samspil mellem temperatur, vandbevægelse og den oprindelige sammensætning af arter. Men der er typisk færre og mindre dyr i områder, der regelmæssigt bliver ramt af iltsvind. Mange arter kan simpelthen ikke nå at vokse op til voksenstørrelse imellem perioder med iltsvind, enten fordi de bliver slået ihjel, eller fordi det lave indhold af ilt hæmmer dyrenes vækst. Et sådant samfund af dyr er derfor domineret af arter med kort levetid. Det vil sige dyr, der hurtigt kan etablere sig og formere sig, og som samtidig tåler iltsvind godt. Det er f.eks. små børsteorme, mens krebsdyr, muslinger, snegle og slangestjerner til gen-

Dyr	Antal pr. m ² (%)	
	1917-1933	1975-2000
Havbørsteorme	68 (25)	197 (16)
Muslinger og snegle	100 (36)	946 (79)
Pighude: søstjerner, slange- stjerner, søpindsvin	52 (19)	10 (1)
Krebsdyr	55 (20)	27 (2)
Andre dyr	1 (0)	19 (2)

gæld er væk. Et eksempel på et sådant samfund, som rammes hyppigt af iltsvind, finder man i Arkona-bassinet, der ligger mellem Møn og Bornholm.

Et andet eksempel kommer fra Fyns Amt, der har vist, at der også er sket markante ændringer gennem de seneste 100 år i Langelandsund. Amtet har sammenlignet undersøgelser af bunddyrene i perioden 1917-1933 foretaget af Dansk Biologisk Station med dets egne undersøgelser fra 1975 til 2000 (tabel 3-1). Sammenligningen viser, at der er sket markante ændringer i fordelingen mellem de forskellige grupper af bunddyr på den bløde havbund, og at enkelte grupper af dyr helt er forsvundet.

Opindeligt var der en nogenlunde ligelig fordeling mellem børsteorme, bløddyr, pighude og krebsdyr, der hver udgjorde 20-30% af hele samfundet af bunddyr. I dag er der forholdsvis flere muslinger og tilsvarende færre krebsdyr og pighude. Nogle arter af pighudene, søpindsvin og sømus er næsten helt forsvundet. Svingninger i mængden af krebsdyr i nyere tid peger samtidig på, at iltsvindene er taget til i styrke. Krebsdyrene er som nævnt forholdsvis følsomme over for lavt iltindhold, og iltsvind dræber dem. De mangler derfor helt blandt bunddyrene om efteråret og ofte også i det følgende forår.

Hvert år er der områder af den danske havbund, hvor bunddyrene bliver påvirket. Og med mellemrum bliver dyrene udslettet på store arealer, når iltsvindet strækker sig over store områder og over længere tid. Det er bl.a. velkendt, at jomfruhummere og andre bunddyr forsvandt fra det sydlige Kattegat i efteråret 1988, og at stort set alle dyr døde i Mariager Fjord i 1997. Bunddyrene i store dele af Skive Fjord, Århus Bugt og Vejle Fjord forsvinder også igen og igen som følge af iltmangel.

Den seneste og mest omfattende udslettelse af bunddyr skete i efteråret 2002, hvor iltsvindet bredte sig over

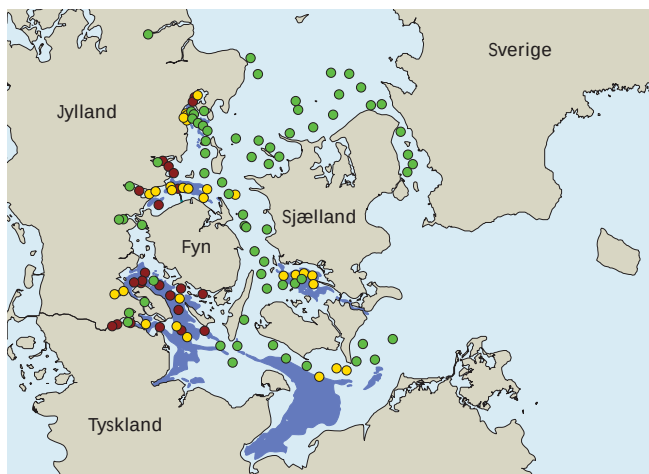
Tabel 3-1

Ændringer i Langelandsunds dyreliv fra 1917-1933 til 1975-2000. Den procentvise andel af dyrene er angivet i parentes. Muslinger er øjensynligt blevet favoriseret af den forurening med næringsstoffer, som har givet mere føde til dyrene. Den samme forurening er årsag til, at iltsvind formodentlig er taget til i styrke, hvilket har reuleret i, at der er blevet færre af de mere følsomme dyr, f.eks. krebsdyr.

Data fra Fyns Amt.

Figur 3-14

Udbredelsen af skader på bunddyr efter det voldsomme iltsvind i 2002. Grønne prikker viser områder, hvor der ikke er sikre tegn på skader. Gule prikker viser områder med tydelige tegn på iltsvind, og røde prikker angiver markante virkninger af iltsvindet. De violette områder markerer steder, hvor modelberegninger forudser, at der er sket skader.



det nordlige og sydlige Lillebælt, områderne omkring Fyn, Århus Bugt og flere østjyske fjorde. Undersøgelser af bundprøver taget efter iltsvindet i 2002 viser, at der var skader på steder, hvor iltsvind normalt er sjældne. F.eks. i det nordlige Smålandsfarvand og visse kystnære områder i Femern Bælt og Hjelm Bugt (figur 3-14). Bunddyr blev påvirket i områder, der tilsammen dækkede omkring 3.400 km². Man må derfor forvente, at det vil tage flere år at genskabe de oprindelige samfund af bunddyr – selv hvis områderne ikke igen bliver ramt af iltsvind.

Figur 3-15

Sild lever i de frie vandmasser og er nogle af de første fisk, der stikker af, når iltsvind rammer et havområde. Til gengæld er de også blandt de første, der vender tilbage.

Foto: Nordsømuseum.



**Figur 3-16**

Torsk er normalt en af de fisk, der forsvinder hurtigt, når et iltsvind begynder at sætte ind. Denne torsk nåede dog ikke at flygte bort fra iltsvindet omkring Fyn i 2002 og blev "fanget" mellem Drejø og Hjortø i Det Sydfynske Øhav.

Foto fra videoklip:
Ole Blohm Poulsen, Fyns Amt.

Iltsvind og fisk

Når iltindholdet falder til omkring 4 mg pr. liter, begynder de fleste fisk at søge efter bedre iltforhold. Fritsvømmende fisk som sild (figur 3-15), brisling og makrel er de første, der stikker af. Også torsk, som lever ved bunden, forsvinder hurtigt (figur 3-16).

Andre bundlevende fisk som fladfisk tåler lavere iltindhold lidt bedre, og de reagerer derfor senere. Ising, rødspætte og skrubbe søger typisk ind på lavt vand, hvor iltforholdene er bedre, og her finder man dem i store mængder, når iltforholdene længere ude er dårlige. Ålekvabbe, ulk og kutling, der er standfisk, reagerer typisk på dårlige iltforhold ved at bevæge sig mindre eller ved at ligge stille (figur 3-17).

**Fig 3-17**

Ulken er en af de standfisk, der typisk reagerer på iltsvind ved at ligge stille.

Foto: Ole Schou Hansen.

Hvordan reagerer fiskene på lavt iltindhold?

Fisk tilpasser sig altså lavt iltindhold på forskellige måder. Nogle stikker af og undgår iltsvindet, mens et almindeligt reaktionsmønster hos mange fisk er, at de bevæger sig mindre i iltfattigt vand. F.eks. falder torsks svømmehastighed med op til 75% i iltfattigt vand. Samtidig falder deres stofskifte med 30-40%. De bruger derfor mindre ilt, og det øger deres chance for at overleve. Mange fiskearter reagerer også ved at æde mindre. Det betyder, at de bruger mindre energi på at søge føde og mindre energi til at fordøje føden. Denne tilpasning har dog en pris. Når fiskene æder mindre, vokser de tilsvarende mindre. Samtidig bliver deres evne til at formere sig nedsat, og de bliver mindre modstandsdygtige over for sygdomme. Fiskene bliver med andre ord stressede.

Nogle fisk forsøger at klare dårlige iltforhold ved at ventilere gællerne mere, det vil sige, at de trækker vejret hurtigere. Når fisken på den måde sender mere vand ind over gællerne, optager den mere ilt, men den får stadigvæk mindre, end når der er rigeligt med ilt i vandet. Fisken kan derfor ikke længere svømme så langt og så hurtigt. Jo mindre ilt, der er i vandet, jo sværere får fisken altså ved at flygte. På et tidspunkt er indholdet af ilt så lavt, at fisken ikke længere kan svømme. Til sidst kan den heller ikke holde gang i det elementære stofskifte, som er afhængigt af ilt, og den skifter derfor til et stofskifte, der ikke bruger ilt. Det svarer lidt til, at vi mennesker danner mælkesyre i musklerne, når de ikke får ilt nok gennem blodet. Men fisken kan ikke klare dette iltfrie stofskifte ret længe, så det er kun et spørgsmål om tid, før den dør, hvis iltindholdet ikke stiger igen.

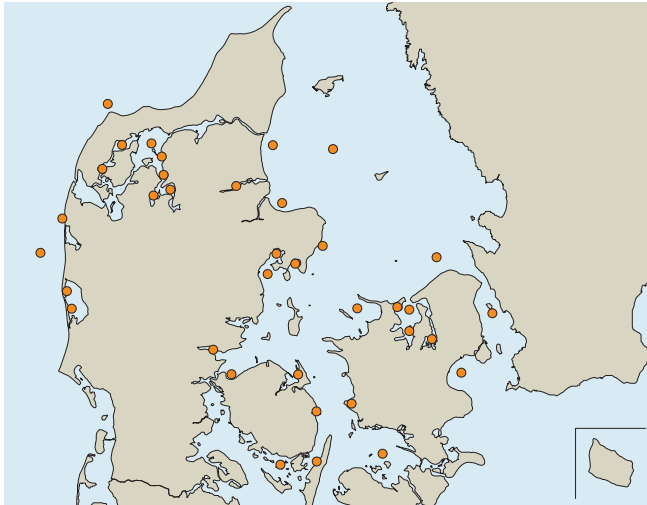
Fisk har også en mulighed for at nedsætte deres stofskifte ved at opsøge koldere vand. Fisk er nemlig vekselvarme og har derfor et lavere stofskifte i koldt end i varmt vand. Eksempelvis dør en torsk i 14°C varmt vand, der har et iltindhold på ca. 1 mg pr. liter. Ved en temperatur på 9°C har torsken nedsat sit stofskifte og behovet for ilt med ca. 40% og dermed øget sine chancer for at overleve. Høje vandtemperaturer ved iltsvind er derfor en ekstra trussel mod fiskene.

Når iltsvindet rammer fiskene, reagerer de altså enten ved at flygte et sted hen, hvor der er mere ilt i vandet, eller skifter til en adfærd, der sætter dem i stand til at overleve en begrænset periode med lavt iltindhold. I det første tilfælde virker tilpasningen, da fiskene svømmer hen til områder med tilstrækkeligt med ilt. I det andet tilfælde, hvor de bliver på stedet, har de kun en chance, hvis perioden med dårlige iltforhold er kortvarig.

Figur 3-18
Døde fladfisk, kutlinger og
tobis skyllet op i Ålborg Bugt
2002 efter at være blevet
dræbt af iltsvind.

Foto: Christen Jensen, Nordjyllands Amt.



**Figur 3-19**

Prikker illustrerer områder, hvor der er blevet fundet døde fisk i forbindelse med iltsvind i perioden 1981-2002.

Døde fisk på stranden

Døde fisk, der skyller op på stranden, er det billede, man ofte har af, hvordan iltsvind rammer fisk. Men trods synligheden er det næppe den alvorligste virkning af iltsvind sammenlignet med tab af føde og opvækstområder. Ofte er de døde fisk på stranden et resultat af, at fiskene er blevet fanget i iltfattigt vand (figur 3-19). Det kan være i en fjord eller en bugt, hvor et lokalt iltsvind er blevet så voldsomt og opstået så hurtigt, at fiskene ikke har kunnet flygte. Andre gange er fiskene døde, fordi iltfattigt bundvand er blevet ført helt op til overfladen eller ind i en fjord og har fanget fiskene (se side 29). I begge tilfælde er det oftest bundlevende fisk, man finder døde langs kysten. Det så man f.eks. i 2002, hvor man i Vejle Fjord fandt store mængder døde og døende fisk på nord- og sydsiden, ligesom man i strandkanten og på havbunden i områder syd for Djursland fandt et stort antal døde sortkutlinger, ålekvarber, småtorske og fladfisk.

I de mest ekstreme tilfælde frigiver bundvendinger svovlbrinte, der på vej op gennem vandsøjlen bruger al ilt i vandet og forgifter fiskene. Så dør fiskene øjeblikkeligt, kvalt af iltmangel eller dræbt af svovlbrinte. Ved bundvendinger kan selv stimefisk blive fanget og dø, fordi det sker så pludseligt og uden varsel, at fiskene ikke kan nå at flygte. Da inderfjorden i Mariager Fjord blev ramt af iltsvind i august 1997, døde store mængder fisk, der ikke nåede at flygte. Samtidig stod tusindvis af ål og gispede efter vejret omkring åudløb med frisk, veliltet vand.

Iltsvind rammer fiskebestande

De kendte dramatiske virkninger af iltsvind, hvor døde fisk skylles op på stranden, kan suppleres med beretninger fra fiskere, der kan fortælle om manglende fisk eller fisk, der er kvalt i nettet under et iltsvind. Men sandheden er, at vi i dag ved meget lidt om de skader, iltsvind generelt forvolder på fiskebestandene.

En undersøgelse fra Sverige fortæller dog noget om det mulige omfang af virkningerne. I den sydøstlige del af Kattegat var der gennem 1980'erne gentagne iltsvind om efteråret i perioder på 3-11 uger i et område på ca. 3.000 km². Prøvefiskeri viste, at iltsvindet reducerede antallet af fiskearter i området til omkring halvdelen af de arter, der var til stede, når der ikke var iltsvind. Når der var gode iltforhold, dominerede kommercielt vigtige arter som torsk, hvilling og rødspætte, mens mindre attraktive og mere iltvindstolerante fladfisk dominerede under iltsvindene. Samtidig med, at antallet af arter blev mindre under iltsvindene, blev fangsten af fisk halveret. I de mest ekstreme tilfælde faldt fangsterne til 3% af det normale, og fangsten bestod i stedet af døde og døende bunddyr.

En anden undersøgelse giver mistanke om, at iltsvind kan stresser fisk så meget, at de bliver mere syge. Gennem flere år har man i Kattegat fundet sammenhænge mellem perioder med iltsvind og isinger, som var syge af bestemte vira.

Men direkte skader på fiskene er ikke den eneste måde, et iltsvind rammer fiskebestandene på. Fiskenes føde rammes også af iltsvind. I første omgang kan et iltsvind kortvarigt øge fødemængden. Det sker, når orme og rørboende krebsdyr kravler op af havbunden på jagt efter ilt. Fisk som ål, ising eller skrubber, der tåler et lavt iltindhold, får pludselig meget lettilgængelig føde. Men balancen mellem det iltindhold, fiskene kan tåle, og adgangen til det nye spisekammer, er knivskarp.

Slutresultatet af et omfattende iltsvind er da også, at der er mindre føde til de fisk, der vender tilbage til området. Dels er der færre bunddyr, dels er udbuddet af føde mere ensidigt i op til flere år efter et iltsvind (se side 44).

Dårligere vækstbetingelser pga. et lavt iltindhold og dårligere føde er en af forklaringerne på, at gennemsnitslængden af torsk og rødspætte i Kattegat og af rødspætte og ising i Århus Bugt er faldet siden starten af 1980'erne, selv om overfiskning sandsynligvis også spiller en rolle.

Når ålegræs rammes af iltsvind (se side 36), påvirker det også indirekte fiskebestandene. Så forsvinder et vigtigt spisekammer og skjul for fiskeyngel nemlig. Og dermed et af de levesteder, som er afgørende for en fornyelse af en fiskebestand efter et iltsvind.

Figur 3-20
En ung torsk på lavt vand.

Foto: Ole Schou Hansen.



**Figur 3-21**

Skrubben er en fisk, der hurtigt vender tilbage efter et iltsvind.

Foto: Dennis Lisbjerg.

Kommer fiskene tilbage efter et iltsvind?

Langtidsvirkninger af iltsvind i form af ændringer i sammensætning og mængde af bunddyr og dermed fiskenes føde er sandsynligvis et større problem for fiskebestandene end de akutte påvirkninger under selve iltsvindet. Et af de store spørgsmål er: Hvor hurtigt og i hvilket omfang vender fiskene tilbage?

Bundlevende fladfisk som ising og skrubbe, der tåler lavere iltindhold, er nogle af dem, der hurtigt dukker op igen efter et iltsvind. Efter iltsvindet i Mariager Fjord i sommeren 1997 var skrubben f.eks. tilbage i inderfjorden igen allerede om efteråret. Og det på trods af, at der var mangel på føde.

Sild, brisling og havørred, dvs. fisk, der vandrer i de frie vandmasser, dukker også ret hurtigt op igen. Undersøgelser i Mariager Fjord viser, at de fleste af vandrefiskene var tilbage igen tre år efter iltsvindet.

Mere følsomme fisk som torsk, der samtidig lever ved bunden, vender ofte senere tilbage. De er nemlig afhængige af, at der er bunddyr eller fritsvømmende småfisk, som de kan æde.

Standfisk som f.eks. ålekvalbe, ulk og kutling er specielt afhængige af et tilstrækkeligt udbud af føde ved bunden, fordi de ikke kan finde føde andre steder. Men det er også vigtigt, at der findes gode skjulesteder som f.eks. ålegræsbede. Standfisk spreder sig derfor langsomt og er blandt de fisk, som er længst tid om at vende tilbage. I Mariager Fjord var der fortsat færre standfisk i 2000 end før iltsvindet i 1997. En lokal race af ålekvalbe ser endda ud til at være helt udryddet.

Boks 3-1

Forskellige fisks evne til at tåle iltsvind

Nogle fiskearter er mere tolerante over for iltsvind end andre. Ål er blandt de danske fisk, der tåler mindst ilt, mens medlemmer af ørredfamilien er mere iltkrævende.



Skrubbe tåler kun et lavt iltindhold i kortere tid, men reagerer ligesom rødspætten over for iltsvind ved at flygte. Skrubberne flygter til de åbne kyster, hvor iltforholdene i vandet er bedre. De vender normalt ret hurtigt tilbage igen, når iltforholdene bliver bedre. Virkningen af iltsvind begrænser sig derfor typisk til en kortvarig nedgang i skrubbebestanden. Skrubben er ikke så kræsen i sit fødevalg, men spiser, hvad den kan finde. Den er derfor kun lidt påvirket af, at følsomme bunddyr forsvinder.



Rødspætte lever på havbunden og er derfor tilpasset et forholdsvis lavt iltindhold. Den er dog mere følsom end andre fladfisk som ising og skrubbe. Rødspætter søger ind på lavt vand, når iltindholdet falder. De søger væk, når det er helt galt. Rødspætter lever af orme og små krebsdyr som f.eks. hesterejer. Det er derfor disse bunddyrs sårbarhed over for iltsvind, der afgør, om der er føde tilbage til rødspætten. Rødspætten vender typisk senere tilbage end andre fladfisk efter et iltsvind.



Sild og **brisling** vandrer meget langt mellem forskellige områder i havet, hvor de spiser eller gyder. De svømmer ofte højt oppe i vandet, hvor der er færrest iltproblemer. Silden flygter hurtigt ud af områder med faldende iltindhold. De er derfor sjældent direkte påvirkede af et lavt indhold af ilt ved havbunden eller af omfattende iltsvind i større områder. Men fiskene ændrer deres vandringsmønster og undgår at svømme igennem vand med lavt iltindhold. Når dårlige iltforhold får fiskene til at opsøge andre områder, vil fiskeriet af vandrefiskene og af de fisk, der spiser vandrefiskene – f.eks. torskefisk – indirekte blive påvirket af iltsvind.



Ørreder er laksefisk, der sædvanligvis holder sig til lavvandede områder med højt iltindhold. De er meget følsomme og flygter derfor hurtigt væk, hvis de opholder sig i områder, hvor der opstår iltsvind. De bliver derfor sjældent ramt af iltsvind. Til gengæld kan iltsvind ramme ørredernes føde, som bl.a. består af de ret følsomme krebsdyr, og det kan ramme deres skjulesteder og spisekamre, der bl.a. er ålegræsområder.

Iltsvind og vandfugle

Vandfugle kan uden større anstrengelser flyve 50-75 km i løbet af en time. Bliver området, hvor de søger føde, ramt af et iltsvind, finder de altså relativt nemt et lignende område. Man oplever derfor ikke, at sensommerens iltsvind slår bestande af fugle ud på samme måde, som det sker med andre organismer.

På længere sigt påvirker iltsvind imidlertid fuglenes fødegrundlag. Fugle kan totalt forsvinde fra områder, hvor føden forsvinder pga. iltsvind. Og det kan vare måneder eller år, afhængig af hyppigheden af iltsvind og skadernes omfang, før fuglene vender tilbage i samme antal.

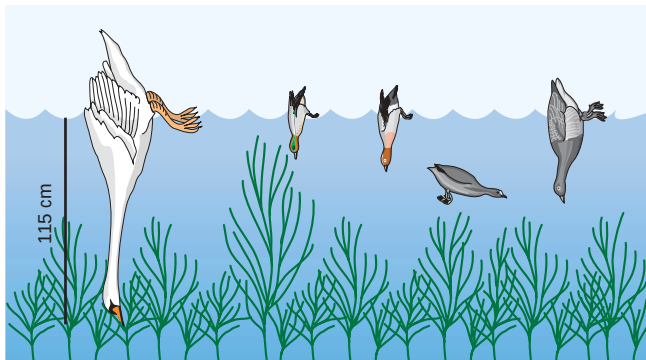
Da fuglene lever af forskellige fødeemner, og da der er forskel på, hvordan iltsvind påvirker denne føde, rammer iltsvindet de forskellige grupper af vandfugle forskelligt.

Vadefugle

Vadefuglene lever på sand- og mudderbanker, hvor de vader rundt for at finde føden, som består af slikkrebs, børsteorme, små muslinger og andre bunddyr. Selv de allermest langbenede vadefugle, storspoverne, finder aldrig deres føde på større vanddybder end 25 cm – og de mindste, rylerne, søger føde på blot 4-5 cm dybde. På så lavt vand er der så godt som aldrig iltsvind, og vadefuglene lever derfor ubekymret i forhold til iltsvind.

Græssende vandfugle

Græssende vandfugle lever af planter, der vokser på havbunden i lavvandede fjordområder. De æder især havgræsser, børstebladet vandaks, kransnålalger og ålegræs. Hovedparten af disse fugle dykker ikke, og de kan derfor kun nå deres føde på ret lavt vand (figur 3-22).



Figur 3-22

Der er forskel på, hvor langt planteædende vandfugle kan nå ned under overfladen. Knopsvanen, den mest langhalsede af dem alle, når 115 cm ned, krikanden når blot 25 cm ned, pibeanden 31 cm og knortegåsen 40 cm. Da de længste planter sjældent er ret meget mere end 70-100 cm høje, kan de planteædende vandfugle kun finde føde på vanddybder mindre end 2 meter. Blishøns kan dykke efter de planter, de æder. Men de er ikke særligt effektive dykkere og søger for det meste deres føde på helt lavt vand.

**Figur 3-23**

Når de bundlevende alger laver fotosyntese, producerer de ilt, der danner bobler. Mange iltbobler kan løfte store stykker af algemåtter, der pludselig letter fra havbunden. Så har havbundens giftige svovlbrinte ofte fri adgang til vandet og de omkringstående planter.

Foto: Peter Bondo Christensen.

Da de store reduktioner i ålegræssets udbredelse ofte sker på større dybder, har det mindre betydning for de græssende vandfugle. Men i varme og stille somre kan iltsvind også forekomme i fjorde og vige på lavt vand, hvor det i høj grad påvirker fuglenes føde. Sådanne steder vil trådalger som krølhårstang og bladalger som søsalat ofte vokse sig store og dominere vegetationen. Når algernes fotosyntese er høj, danner de mange iltbobler, der pludselig kan få dem til at flyde op til overfladen (figur 3-23). På vejen river de andre bundplanter med, og ofte kommer der også svovlbrinte med op fra havbunden. Efter at være flydt op falder alger og bundplanter atter til bunden for derefter at gå i forrådnelse. Resultatet er, at man i varme somre ofte ser plamager af rådende søsalat, trådalger og blomsterplanter i lavninger på lavt vand i fjordene. Plamagerne er ofte dækket af purpur-svovlbakterier, der farver dem lilla, og de rådende planter og bunden lige under er en kilde til svovlbrinte på helt lavt vand (figur 3-24).

Selv om den slags kollaps ikke opstår pga. iltsvind, er mekanismerne og virkningerne på mange måder de samme, og baggrunden for de store forekomster af trådalger og bladalger er igen store mængder næringsstoffer.

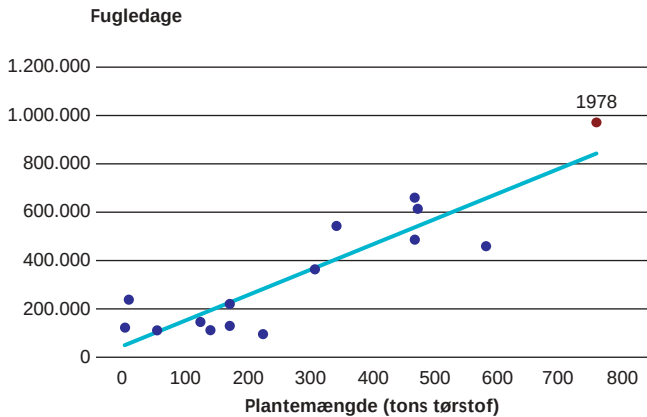
Det var sådanne hændelser, der var årsag til, at bundplanterne gik voldsomt tilbage på Tipper-grunden i Ringkøbing Fjord i årene 1979-1980. Faktisk forsvandt planterne stort set, og vandfuglene reagerede øjeblikkeligt på denne ændring.

Figur 3-24

Purpurfarvede svovlbakterier farver planterester lilla i lavvandede områder. Bakterierne laver fotosyntese og bruger den svovlbrinte, der er lige under de sammenskyllede planterester.

Foto: Nanna Rask, Fyns Amt.





Figur 3-25

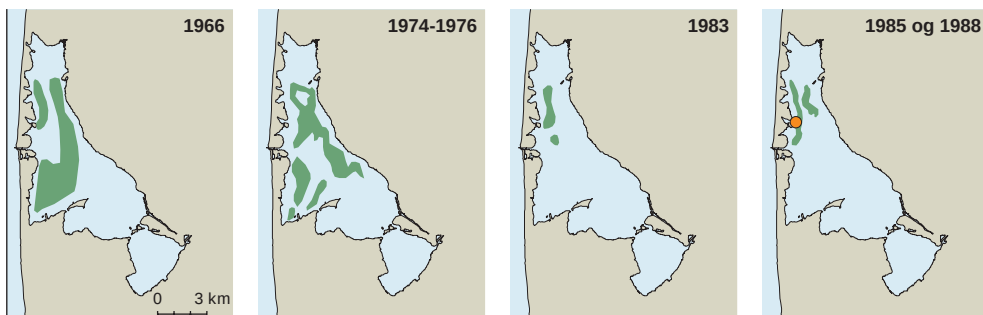
Sammenhængen mellem mængden af vandplanter (især børstebladet vandaks og havgræs) og antallet af planteædende vandfugle (pibeænder) på Tipper-grunden. Vandplanternes mængde er beregnet for hele Tipper-grunden. Fuglenes antal er udtrykt som antal fugledage. Denne enhed beskriver fuglenes samlede udnyttelse af et område. 300 fugle dagligt i 10 dage eller 3.000 fugle en enkelt dag giver eksempelvis begge 3.000 fugledage. I 1978, dvs. året før det første kollaps af bundplanterne, var der både flest bundplanter og det højeste antal fugledage.

I perioden 1973-1978 var der årligt mellem 7.200 og 22.700 blishøns på Tipperne, mens der i perioden 1980-1984 kun var 300 til 1.900 fugle. Antallet af knopsvaner faldt tilsvarende fra 1.200-2.500 fugle i 1973-1978 til 200-800 fugle i 1980-1984, og antallet af pibeænder blev mere end halveret. Samtidig holdt ænderne op med at søge deres føde på Tipperne og opholdt sig der kun om dagen, mens de søgte føde i det omkringliggende landskab om natten.

Det kan vare flere år, før planterne igen har etableret sig, og der igen er føde til fuglene efter sådanne kollaps. På Tipper-grunden har planterne f.eks. været i fremgang i to perioder, nemlig i 1984-1985 og i 1991-1995, men hver gang er der opstået et nyt kollaps.

Undersøgelser viser samtidig, at mængden af bundplanter på Tipper-grunden aldrig er nået op på de størrelser, der var før 1978. Plantemængden er bestemt gennem 14 somre, og kun i fire af dem var der mere end halvdelen af den mængde planter, man fandt før iltsvindet i 1978. Der er derfor færre fugle på Tipperne, da deres tilstedeværelse er bestemt af fødegrundlaget (figur 3-25).

Fuglene kan kun fordøje op til 40% af den energi, der er i bundplanterne. De må derfor æde meget og bruger mindst halvdelen af dagen på det. Er der for få planter, kan fuglene derfor ikke nå at indtage nok føde til at dække deres daglige behov. Så sulter de og søger nye græsgange i andre områder. En tommelfingerregel siger, at der er for få planter til, at vandfuglene kan udnytte dem, når der er under 10-20 g plantetørvægt pr. m².



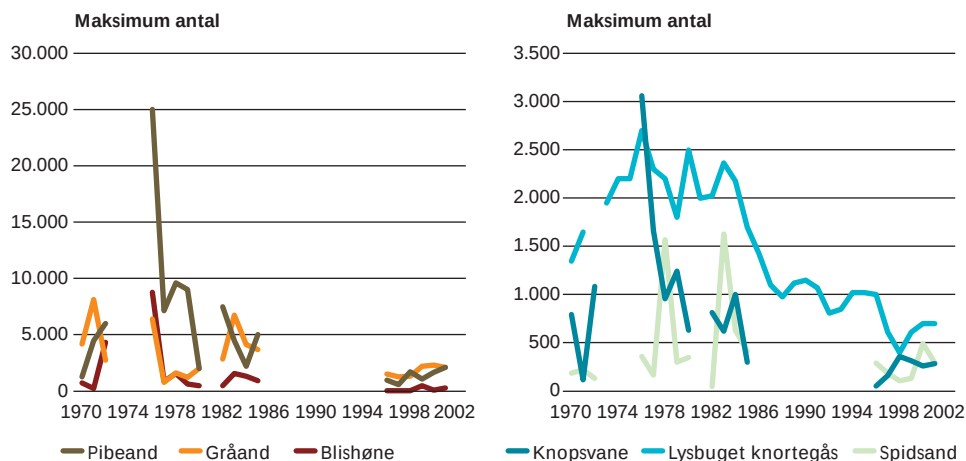
Figur 3-26

Udbredelsen af ålegræs i Nissum Fjord i 1966, 1974-1976, 1983, 1985 og 1988. I 1988 blev der blot fundet én plante i fjorden. Den er angivet med en orange prik.

Det var lige det, der skete i Nissum Fjord. Her var der i 1960'erne en meget stor ålegræsbevoksning på omkring 12 km². Den blev gradvist mindre i løbet af 1970'erne, og antallet af vandfugle, der græssede på bevoksningen, aftog markant (figur 3-26 og 3-27). I slutningen af 1980'erne forsvandt ålegræsset helt. Årsagen til fuglenes tilbagegang i området var helt klart fødemangel. I andre tilsvarende områder er den samlede bestand af de samme fuglearter nemlig steget kraftigt i perioden fra begyndelsen af 1970'erne til nu.

Figur 3-27

Antal lysbugede knortegæs og andre planteædende vandfugle ved Nissum Fjord de seneste 30 år. Kurverne viser årlige maksima (forår for lysbuget knortegås, efterår for øvrige arter). De brudte kurver skyldes, at der ikke er optællingsdata fra alle år.



Dykkende vandfugle

Dykkende vandfugle dykker ned under vandet for at søge føde. De kan opdeles i to grupper efter deres valg af føde. Én gruppe består af en række arter, der æder fisk, f.eks. lommer, lappedykkere, skarver og skalleslugere. Disse fugle påvirkes direkte af iltsvind, når deres byttedyr stikker af eller dør pga. iltsvind.

Den anden gruppe består af dykænder som f.eks. ederfugl, havlit, sortand og hvinand. De lever hovedsagelig af muslinger, snegle og andre bunddyr, der også er udsatte, når der opstår iltsvind ved havbunden (se side 40). De fleste arter af muslinger er godt nok relativt tolerante over for iltsvind og kan overleve iltkoncentrationer på mindre end 2 mg ilt pr. liter i længere perioder. Men alvorlige iltsvind kan reducere mængden af muslinger på de dybder, hvor dykænder holder til om vinteren. Specielt under isvintre, hvor isen tvinger fuglene til at søge føde på større vanddybder, end de er vant til.

Normalt søger havdykænder deres føde på steder, hvor der er mange muslinger. Det er der sjældent på det lave vand, og dykænderne må derfor søge deres føde på dybere vand. Men dykænderne bruger energi på at dykke, og jo dybere de skal ned, jo mere energi bruger de. De dykker derfor kun i det dybdeområde, hvor der er muslinger nok, og hvor det samtidig ikke koster for meget energi at hente dem op.

Generelt viser undersøgelser, at netop på de vanddybder er iltsvind sjældent kraftige og langvarige nok til at nedsætte mængden af muslinger.



Figur 3-28

Hvinand, der netop har dykket efter føde på havbunden.

Foto: Jan SkrIVER.



Figur 3-29

Store flokke af måger holdt festmåltid på døde fisk, der var blevet fanget i iltfrie vandmasser i Skive Fjord den 14. august 2003. Svovlbrinte, der er frigivet fra bunden bliver iltet til frit svovl i vandet, som farver vandet mælkevidt.

Foto: Limfjordsovervågningen.

Altædende vandfugle

En enkelt gruppe af vandfugle kan direkte lukrere på følgerne af iltsvind. Det er de omnivore vandfugle, dvs. fugle, der stort set æder alt.

Denne gruppe domineres af måger, som søger deres føde alt efter, hvor mulighederne byder sig. Når iltsvind fører til fiske-død og død blandt bunddyrene, holder mågerne festmåltid på et veldækket bord bestående af flygtende og døde dyr i den øverste del af vandsøjlen eller i strandkanten (figur 3-29).

Marsvin og iltsvind i Flensborg Fjord

Marsvin er den eneste hval, der ses i de danske havområder året rundt (figur 3-30). Ligesom andre hvaler indånder den luft og er derfor ikke afhængig af ilten i vandet som de fleste andre havdyr. De bliver derfor ikke direkte påvirkede af iltsvind. Men det gør en del af de fisk, marsvinet lever af.

Nogle af de vigtigste fisk på marsvinets spisekort er sild og brisling. De lever i de frie vandmasser og er derfor kun sjældent påvirkede af iltsvind (se boks 3-1). Men bundlevende fiskearter som torsk og kutlinger er også en del af marsvinets føde i visse områder og på visse årstider. Disse fisk flygter eller dør normalt under dårlige iltforhold, og dermed forsvinder marsvinets føde. Da man endnu ved meget lidt om, hvordan iltsvind påvirker fiskebestandene i Danmark, ved man endnu mindre om, hvad det betyder for havpattedyr som sæler og marsvin, der lever af fiskene.



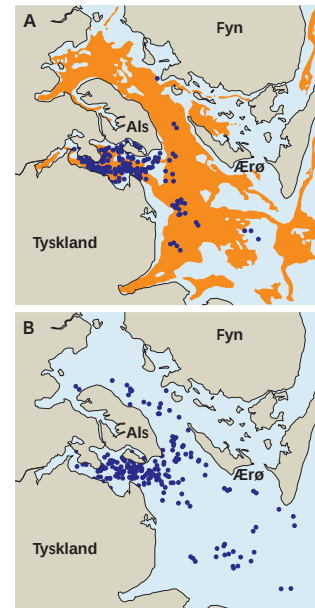
Figur 3-30
Marsvin i Flensborg Fjord.
Bemærk satellitsenderen på rygfinnen.

Foto: Jonas Teilmann.

For marsvinets vedkommende kan iagttagelser fra 2002 dog måske gøre os en smule klogere: Et voksent hunmarsvin, der bar en lille satellitsender på rygfinnen, opholdt sig i og omkring Flensborg Fjord syd for Als fra maj til november 2002, og ved hjælp af satellitsenderen var det muligt at følge dets bevægelser (figur 3-31). Marsvinet var også i fjorden under iltsvindet i perioderne fra 12. august til 3. oktober og fra 21. oktober til 7. november, hvor iltindholdet i bundvandet var mindre end 2 mg pr. liter. Det lave iltindhold så ikke ud til at bekymre marsvinet (figur 3-31). I begge perioder opholdt det sig nemlig omkring halvdelen af tiden i de områder, hvor iltsvindet var kraftigst – nemlig i de dybe dele af fjorden til trods for at disse områder udgør en forholdsvis lille del af fjorden.

Der var øjensynligt rigeligt med fisk tilbage i fjorden til marsvinet – måske oven i købet flere end normalt? I hvert fald brugte marsvinet et meget mindre område til at finde sin føde i under selve iltsvindet end i de perioder, hvor der ikke var iltsvind.

Det er nærliggende at gætte på, at iltsvindet gjorde det lettere for marsvinet at fange fisk. Måske fordi mange fisk blev jaget op i de frie vandmasser eller samlede sig i bestemte områder, hvor der trods alt var lidt mere ilt, eller måske fordi iltsvindet havde gjort fiskene sløvere og dermed nemmere at fange.



Figur 3-31
De blå prikker viser, hvor et marsvin med en satellitsender opholdt sig i Flensborg Fjord under iltsvindet (A) og hhv. før og efter iltsvindet i 2002 (B). Området ramt af iltsvind er angivet med orange farve.



Næringsstoffer, vejr og havstrømme

Tilførslen af næringsstoffer har afgørende betydning for omfanget af iltsvind i havet omkring Danmark. Men vind- og vejrforhold samt havstrømme i de danske farvande spiller også en væsentlig rolle. Næringsstofferne kommer fra det omgivende land, fra luften og fra de tilstødende havområder. Langt de fleste af disse næringsstoffer skyldes menneskers aktiviteter, og landbruget i Danmark og vore nabolande er den væsentligste kilde til det kvælstof, der bliver udledt til de indre danske farvande fra land.

Foto: Ole Schou Hansen.

Man kan ikke regulere vejr og havstrømme, der bestemmer tilførslen af ilt til havbunden, men man kan i en vis udstrækning regulere tilførslen af næringsstoffer til havmiljøet. Næringsstoffer, som i høj grad er medvirkende til, at iltsvind opstår.

Havet omkring Danmark modtager næringsstoffer fra land, fra luften og fra tilstødende havområder. Fra land løber næringsstofferne ud i havet via vandløb, regnvandsoverløb, renseanlæg osv. Fra luften kommer kvælstof dels opløst i regnvandet dels som gasser, der opløses i havet. De indre farvande får desuden tilført næringsstoffer med havstrømme fra Skagerrak og Østersøen.

De næringsstoffer, algerne bruger mest af, er kvælstof og fosfor. Algerne optager ca. 16 gange så mange kvælstofatomer som fosforatomer for at vokse og formere sig. Det stof, der først mangler i forhold til algernes behov, er det stof, der begrænser algernes vækst: Det begrænsende næringsstof.

I de åbne danske farvande løber algerne stort set altid først tør for kvælstof. Det er med andre ord kvælstof, der er det begrænsende næringsstof i disse havområder. Kommer der mere kvælstof, vokser algerne mere. Omvendt vil mindre kvælstof i de åbne farvande hæmme væksten af alger.

I fjorde er det typisk fosfor, som begrænser algernes vækst den første del af året. Men om sommeren og om efteråret, hvor iltindholdet i havbunden er lavere, bliver der frigivet en masse fosfor. I de fleste danske fjorde kommer der så meget fosfor fra havbunden, at kvælstof bliver det næringsstof, der begrænser algernes vækst gennem sommeren, og indtil vinteren slukker for lys og varme.

Figur 4-1

Jo mere nedbør der kommer, jo flere næringsstoffer bliver der vasket ud til vores vandmiljø.

Foto: Peter Bondo Christensen.



Nedbørens betydning

En stor del af de næringsstoffer, der spredes ud på markerne for at gøde landbrugsjorden, bliver ikke optaget af planterne. Der er med andre ord et overskud af næringsstoffer. Når det regner og sner, siver vandet fra nedbøren ned gennem jorden. Vandet fører næringsstofferne videre til vandløb og søer og endelig til havet. Jo mere nedbør, jo mere vand løber der ned gennem jorden, og jo flere næringsstoffer vasker vandet ud.

I våde år kan afstrømningen af næringsstoffer fra land derfor være dobbelt så stor som i tørre år (figur 4-2). År 2002 var eksempelvis et meget vådt år. Her var afstrømningen af kvælstof og fosfor fra det omgivende land til de indre farvande mere end 30% højere end året før. Som bekendt var

det også året med det rekordstore iltsvind. I de tørre år 1996 og 1997 var iltforholdene i de åbne indre farvande omvendt forholdsvis gode. At Mariager Fjord netop i 1997 havde et massivt iltsvind, skyldes bl.a. de særlige vind- og vejrforhold den sommer (se side 23 og 49).

Men det har også betydning, hvornår på året de store nedbørmængder falder. Om vinteren er fordampningen fra jorden lille, og det meste af nedbøren siver ned i jorden. Samtidig holder planterne ikke mange næringsstoffer tilbage, da de ikke gror meget i kulden og vintermørket. Meget nedbør om vinteren giver derfor stor udvaskning af næringsstoffer, som algerne i havet kan bruge om foråret. Det skete f.eks. netop i 2002, hvor algernes forårsopblomstring blev kraftig.

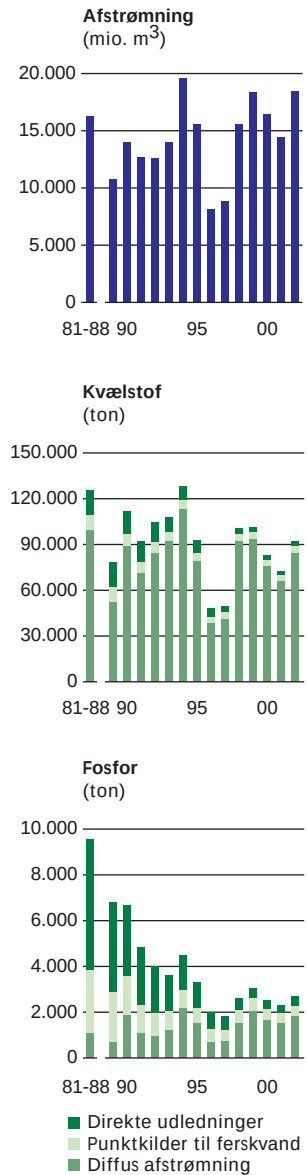
Senere samme år så man atter et eksempel på, at regnen har afgørende betydning for udvaskningen af næringsstoffer. I juni-juli faldt der meget regn, og selv om fordampningen på det tidspunkt er større, og selv om jorden var dækket med planter i fuld vækst, medførte den megen sommerregn også en udvaskning af næringsstoffer til havet i sommerperioden.

Variationer i mængden af nedbør i løbet af året og fra år til år har altså stor betydning for, hvor mange næringsstoffer der tilføres de danske kystvande fra land i det enkelte år. Derfor er et evt. fald eller en evt. stigning i udvaskningen fra et år til det næste ikke nødvendigvis forårsaget af forskellige tiltag – det kan også skyldes variationer i nedbør. Når man vil vurdere vandmiljøplanernes virkninger, må man derfor korrigere for variationerne i nedbør og afstrømning. Man beregner simpelthen, hvad udvaskningen ville være i et "normalår" – dvs. i et år med en gennemsnitlig mængde nedbør og en gennemsnitlig fordeling af nedbøren gennem året, og kalder det for nedbørskorrigerede tal (se kapitel 5).

Men algerne i vores kystvande og i havet reagerer på de mængder næringsstoffer, der reelt bliver ledt til havet de enkelte år. I dette kapitel beskriver vi de reelle tilførsler af næringsstoffer til havet, mens vi i kapitel 5 behandler de nedbørskorrigerede tal.

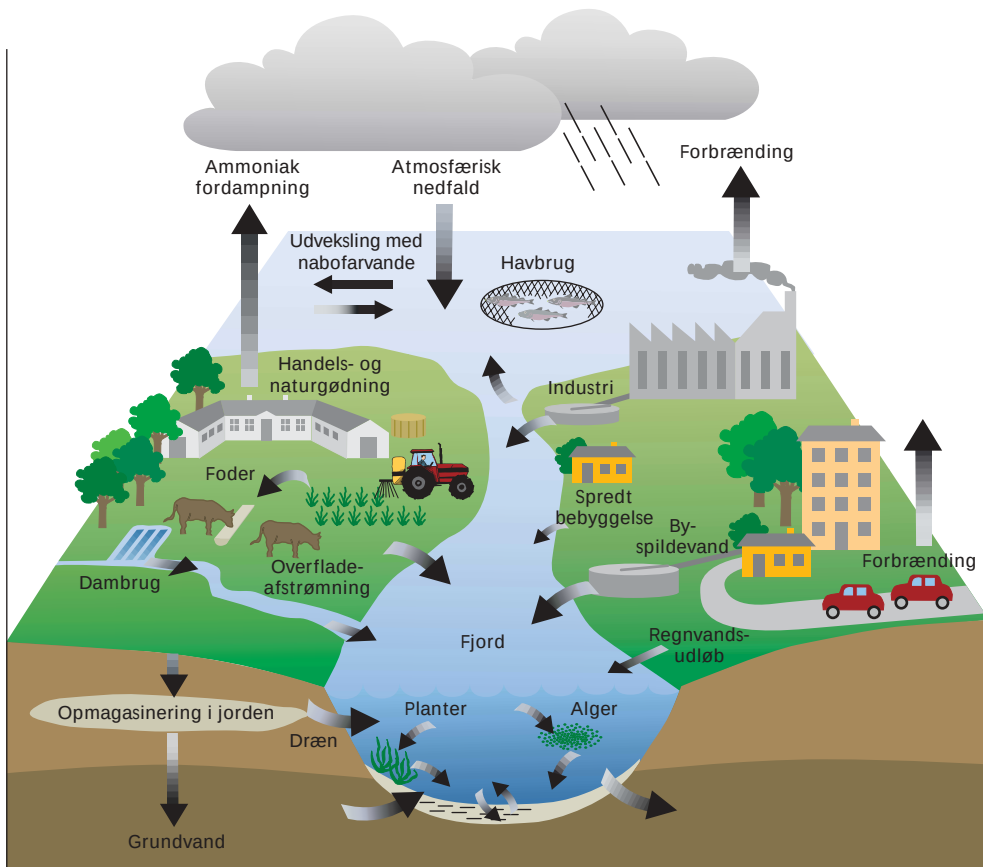
Tilførsel fra land

Ud over udvaskningen fra landbrugsjord er der også udvaskning fra naturarealer, og til sammen kaldes disse to kilder til næringsstoffer for diffuse kilder. Nogle af næringsstofferne herfra bliver holdt tilbage i søer og vandløb, men størstedelen af dem løber videre og ender i havet.



Figur 4-2

Ferskvandsafstrømning og udledning af kvælstof og fosfor fra Danmark til havet i årene 1989 til 2002, samt gennemsnittet for perioden 1981-1988.



Figur 4-3

Kvælstof og fosfor tilføres vore farvande fra mange forskellige kilder. Her er vist de vigtigste kilder til kvælstoftilførslerne. Kilderne til fosfor er de samme bortset fra, at fosfor stort set ikke afgives til atmosfæren, og at der derfor heller ikke er noget nedfald af fosfor af betydning fra atmosfæren.

Der ledes også næringsstoffer ud fra mere afgrænsede kilder, såkaldte punktkilder, f.eks. fra renseanlæg, regnvands-overløb, fabrikker, ferskvandsdambrug, havbrug o.l. (figur 4-3). Spredt bebyggelse uden kloakering og forbindelse til renseanlæg regnes også for punktkilder. Næringsstofferne fra punktkilderne løber enten direkte ud i havet eller til vandløb, som siden løber ud i havet. De diffuse kilder er de største leverandører af næringsstoffer til danske kystområder, og blandt dem er landbrugsjord den absolut største (tabel 4-1).

Kvælstof

I 2002 fik danske marker på landsplan tilført i alt ca. 530.000 tons kvælstof. Det var ca. 235.000 tons mere, end der blev fjernet med høsten. Næsten halvdelen af den samlede mængde kvælstof, der tilføres i landbruget, tabes altså igen. En del af tabet (ca. 40.000 tons) skyldes, at ammoniak fordamper til atmosfæren – især når der spredes gylle på markerne. En anden del af tabet skyldes,

Tilførsel via vandløb	Kvælstof (tons pr. år)			Fosfor (tons pr. år)		
	Danmark	Sverige	Tyskland	Danmark	Sverige	Tyskland
A Diffuse kilder						
• Baggrund	5.800	7.550	3.500	210	130	135
• Landbrug	50.625	19.100	8.500	825	390	350
B Punktkilder til ferskvand						
• Spredt bebyggelse	700	600		155	76	
• Renseanlæg	1.700	770	2.300	180	17	125
• Industri	15	60	15	4	4	2
• Regnvandsoverløb	400	150	400	110	25	85
• Dambrug	1.650			65		
C Tilbageholdelse i ferskvand	-6.075	-5.300	-4.200	-25	-167	-410
Total udledning via vandløb	54.815	22.930	10.515	1.524	475	287
Direkte punktkilder til saltvand						
• Renseanlæg	1.520	1.040		210	33	
• Industri	570	300		40	25	
• Regnvandsoverløb	125	60		30	9	
• Havbrug	325			35		
Total direkte udledning	2.540	1.400		315	67	
Total udledning til kystvandene	57.355	24.330	10.515	1.839	542	287
Udledning til kystvandene i procent fordelt på de tre lande	62	26	12	69	20	11

at bakterier ved denitrifikation omdanner nitrat til luftformigt kvælstof, der forsvinder op i luften. Det største tab skyldes udvaskning af kvælstof. I et år med normale nedbørsmængder drejer det sig om ca. 168.000 tons. Men kun en del af det udvaskede kvælstof løber til vandløbene. I 2002 ledte vandløbene godt 70.000 tons af det udvaskede kvælstof videre til havet.

Foruden tabet fra markerne taber landbruget også omkring 40.000 tons kvælstof fra stalde, møddinger og gyllebeholdere som ammoniak til atmosfæren.

Af alt det kvælstof, som danske landområder eksporterede til de indre danske farvande i 2000, bidrog landbruget med ca. 80%. Bidraget af kvælstof fra punktkilder og spredt bebyggelse var på ca. 10%. De sidste 10% var den udvaskning, som også ville finde sted, hvis hele Danmark lå hen som vild natur – bidraget kaldes også baggrundsbidraget (tabel 4-2). Landbruget er dermed den væsentligste kilde til det kvælstof, der bliver udledt fra danske landområder til de indre farvande.

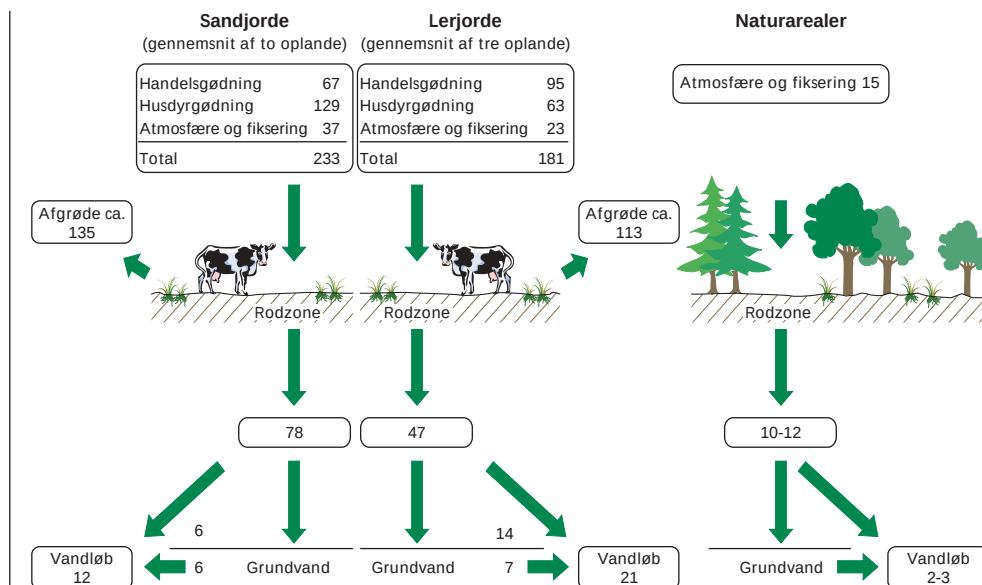
Tabel 4-1

Udledningen af kvælstof og fosfor (i runde tal) fra hhv. Danmark, Sverige og Tyskland til vandløb og søer og samlet til Kattegat, Øresund og Bælt-havet (inklusiv de tilstødende fjorde). Tallene er fra 2000. Opgørelserne foretages lidt forskelligt i de tre lande. I Tyskland er de direkte udledninger fra punktkilder til kystvande indregnet i udledningerne via vandløb.

Tabel 4-2

Hovedkilder af kvælstof og fosfor i hhv. Danmark, Sverige og Tyskland i 2000 (i %). Tabellen angiver også, hvor stor en procentdel af de samlede udledninger til vandmiljøet, der når frem til kystvandene i de respektive lande.

Kilder	Kvælstof (%)			Fosfor (%)		
	Danmark	Sverige	Tyskland	Danmark	Sverige	Tyskland
Baggrund	9	25	24	11	18	20
Landbrug	80	65	58	45	55	50
Punktkilder og spredt bebyggelse	11	10	18	44	27	30
Når frem til kystvandet	90	82	71	99	76	41



Figur 4-4

Det gennemsnitlige årlige kvælstofkredsløb for perioden 1997/98-2001/02 for henholdsvis dyrkede sandjorde, dyrkede lerjorde og naturarealer. Selv om udvaskningen fra sandjorde er større end fra lerjorde, havner en mindre del umiddelbart i vandløbene. Årsagen er, at en større del siver ned til det dybereliggende grundvand, hvorfra noget af det kan strømme ud i vandløbet længere nede eller direkte i havet. På lerjorde sker afstrømningen til vandløbene nærmere jordoverfladen. Bemærk forskellen i udvaskning mellem dyrkede arealer og naturarealer. Alle enheder er i kg kvælstof pr. ha.

Fosfor

Landbruget tilførte endvidere ca. 76.000 tons fosfor til markerne i 2002. I forhold til den mængde fosfor, der fjernes med afgrøderne, giver det et overskud på 28-33.000 tons. En del af det overskydende fosfor bliver bundet til jordpartikler og til bunden i vandløb og søer, men i 2002 ledte vandløbene ca. 1.150 tons fosfor fra markerne videre til havet.

Ca. 45% af det fosfor, der kom fra Danmark til kystområderne i de indre farvande i 2000, stammede fra landbruget. Baggrundsbidraget var på ca. 10%, mens ca. 45% kom fra punktkilder og spredt bebyggelse uden kloakering. Husholdninger og renseanlæg er derfor også væsentlige fosforkilder til de danske havområder (tabel 4-2).

Landenes bidrag

Langs vore kyster og i vore fjorde er bidraget af næringsstoffer fra danske kilder de vigtigste. Jo længere man bevæger sig ud mod de åbne indre farvande, jo mere betyder bidragene fra Sverige og Tyskland, som grænser op til de danske havområder.

Betrager man de landbaserede kilder fra de tre lande isoleret – dvs. ser man på den mængde kvælstof og fosfor, der kommer direkte til Kattegat, Øresund og Bælthavet fra de tre lande – vil man se, at Danmark bidrager med langt størsteparten (tabel 4-1).

I 2000 bidrog Danmark med omkring 62% af den samlede direkte tilførsel af kvælstof fra land til Kattegat, Øresund og Bælthavet. Sverige bidrog med ca. 26%, mens Tysklands andel af kvælstofudledningen fra det omgivende land var 12%. De samme tal for fosfor var i 2000: Danmark 69%, Sverige 20% og Tyskland 11% (tabel 4-1).

Ligesom det er tilfældet i Danmark, er bidraget fra landbruget også væsentligt i de to andre lande. Fra Sverige kommer 65% af kvælstoffet og 55% af fosforen fra deres land- og skovbrug. I Tyskland bidrager landbruget med henholdsvis 58% af kvælstoffet og 50% af fosforen (tabel 4-2).

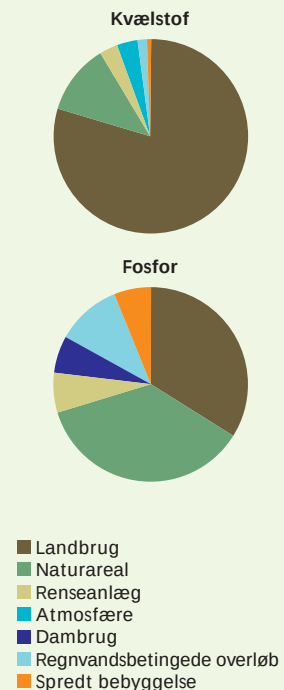
Næringsstoffer fra havbunden

Havbunden kan under dårlige iltforhold i sensommeren frigive betydelige mængder næringsstoffer. På det tidspunkt af året kommer der ikke mange næringsstoffer fra land, og havbunden kan derfor være den vigtigste næringskilde for planktonalgerne gennem sommeren.

Boks 4-1

Næringsstoffer fra land og atmosfæren

Næringsstofferne kommer fra flere forskellige kilder. Her er der vist bidraget fra de enkelte kilder til Mariager Fjord i 2002. Man kan se, at landbruget er langt den vigtigste kilde for tilførsel af kvælstof. I Mariager Fjord er landbruget ansvarlig for ca. 80% af den samlede kvælstoftilførsel. Derimod er der flere betydningsfulde kilder, der belaster fjorden med fosfor.



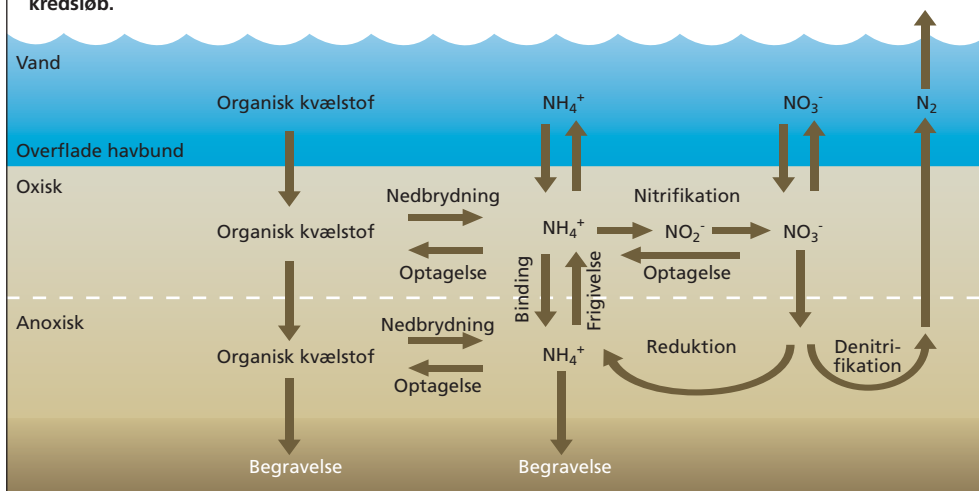
Hovedparten af de næringsstoffer, der frigives fra havbunden, stammer imidlertid i sidste ende fra land. De har blot været en tur gennem algerne, der på et tidspunkt i en eller anden form er sunket ned på havbunden. Når algerester og andet organisk materiale ender på havbunden, nedbryder bakterierne det. På den måde frigives de næringsstoffer, som planterne i sin tid optog, da de producerede organisk stof ved fotosyntese. Når det organiske stof nedbrydes, frigives kvælstof primært som ammonium (NH_4^+), mens fosfor frigives som fosfat (PO_4^{3-}).

Nedbrydningen af organisk stof og frigivelsen af kvælstof og fosforforbindelser sker hovedsageligt nede i havbunden. Herfra bevæger næringsstofferne sig op mod overfladen af havbunden. Planter og bakterier på havbunden kan optage og bruge næringsstofferne. På en sund havbund fungerer de forskellige organismer derfor som et filter, der optager kvælstof og fosfor og begrænser mængden af næringsstoffer, der trænger op i vandet. Men under dårlige iltforhold forsvinder filteret, og havbunden frigiver næringsstofferne til vandet.

Kvælstof

Udvekslingen af kvælstof mellem havbund og vand reguleres af et kompliceret kredsløb (figur 4-5). Kredsløbet påvirkes i stor udstrækning af de planter og dyr, der lever på og i havbunden, samt af iltforholdene, temperaturen og lysforholdene ved bunden.

Figur 4-5
Havbundens kvælstof-
kredsløb.



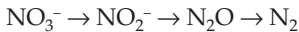
Ammonium, der frigives ved nedbrydning af det organiske stof i havbunden, kan optages af planter på havbunden. Planterne indbygger kvælstoffet i organisk stof, når de danner nyt plantemateriale.

Ammonium kan også blive iltet til nitrat, når der er ilt til stede. Det sørger nitrificerende bakterier for. Processen hedder nitrifikation og kan skematisk skrives som:



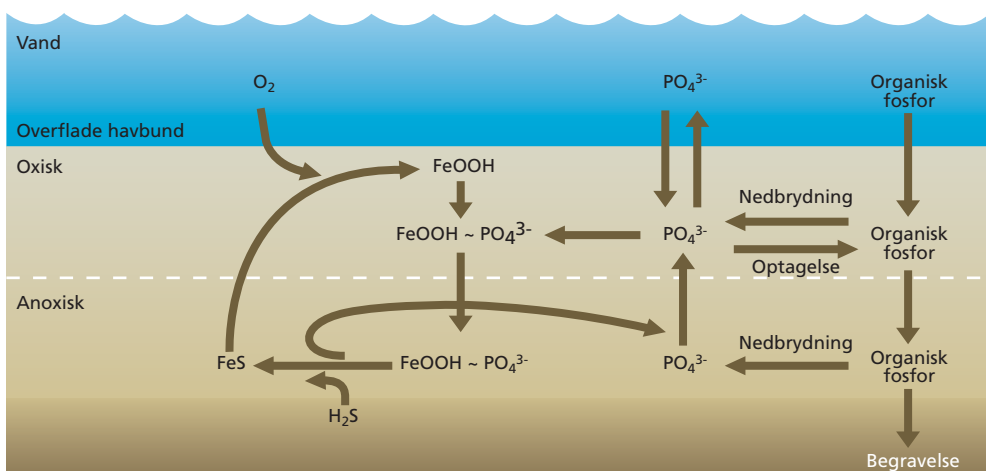
Ammonium ilttes først til nitrit (NO_2^-), der igen ilttes til nitrat (NO_3^-). Gode iltforhold i bundvandet, bølger, kraftig strøm og dyr, der graver og roder i havbunden, bringer alt sammen mere ilt ned i havbunden, og det øger nitrifikationen.

Nitrat er ligesom ammonium en kvælstofkilde for planter. Endvidere kan en speciel bakteriegruppe – de denitrificerende bakterier – bruge nitrat i deres respiration. De nedbryder organisk stof ved at respirere med nitrat. Processen kaldes for denitrifikation og kan skrives som:



Nitrat reduceres via nitrit og lattergas (N_2O) til frit kvælstofgas (N_2). Kvælstofgas forsvinder op i atmosfæren, der i forvejen indeholder 80% N_2 . Planterne kan ikke udnytte kvælstof, når det er på gasform. Denitrifikationsprocessen kan derfor fjerne det plantetilgængelige kvælstof.

Figur 4-6
Havbundens fosforkredsløb.



Mange af de planter og dyr, der optager og binder kvælstof fra havbunden, forsvinder, hvis der kommer mange planktonalger i vandet, eller hvis iltforholdene i bundvandet forringes. Uden ilt i bundvandet stopper nitrifikationen og dermed denitrifikationen. Derfor kommer der masser af kvælstof i form af ammonium op i vandet under dårlige iltforhold. Kvælstof, der kan give anledning til en højere algeproduktion, som igen øger forbruget af ilt i bundvandet ... en ond cirkel starter.

Fosfor

Havbunden holder normalt effektivt på fosfor. Når fosfat frigives ved nedbrydningen af organisk stof, binder det sig hurtigt til lermineraller eller til forskellige metalforbindelser – især jern (figur 4-6).

Jern findes som iltet (oxideret) jern. Det kaldes for ferri-jern (Fe^{3+} eller Fe(III)). Når iltet jern reduceres, bliver det til ferro-

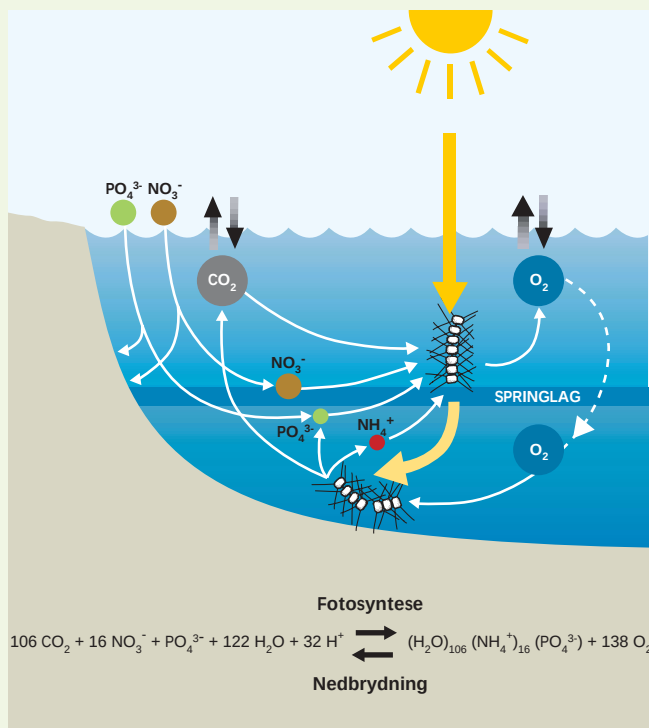
Boks 4-2

Stofomsætning i havet

Næringsstoffer fra land gøder havets planter. Når planterne får lys nok, laver de fotosyntese og producerer derved organisk stof og ilt. Til fotosyntesen bruger planterne det kuldioxid, der er opløst i havet. Kuldioxid og ilt i de øverste vandmasser udveksles med kuldioxid og ilt i atmosfæren.

Når algerne dør, synker de til havbunden, hvor de bliver nedbrudt. Herved frigøres de fleste næringsstoffer igen og bliver atter tilgængelige for algerne oppe i vandet.

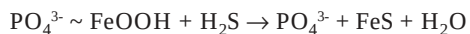
Ud fra ligningen nederst i figuren kan man se, at der skal bruges lige så meget ilt til at nedbryde algerne,



jern (Fe^{2+} eller Fe(II)). Fosfat binder sig nemt til iltet jern, mens ikke-iltet jern ikke binder fosfat. Når iltet jern forsvinder, frigives fosfat derfor hurtigt fra havbunden.

Det sker bl.a. om sommeren og i perioder med dårlige iltforhold. Her svinder havbundens pulje af iltet jern langsomt ind. Man kan se det ved, at havbunden skifter farve fra lys brun til sort.

De iltede jernforbindelser binder også den giftige svovlbrinte effektivt, og havbundens indhold af iltet jern har derfor en vigtig rolle ved både at tilbageholde svovlbrinte og fosfat. Men, det er enten eller! Svovlbrinte reducerer iltet jern og "skubber" derved det bundne fosfat væk. Samtidig dannes der jernsulfid (FeS), der farver havbunden sort:



som de i sin tid producerede ved fotosyntese. Den ilt, der er nødvendig til at nedbryde algerne, kommer primært fra bundvandet. Men da bundvandet ofte er adskilt fra overfladevandet af et springlag, trænger ilt fra overfladevandet kun meget dårligt ned i bundvandet. Der bliver derfor hurtigt underskud af ilt i bundvandet.

Jo mere kvælstof og fosfor, der er i havet, jo mere organisk stof producerer algerne, for der er altid kuldioxid nok i havet.

Specielt om nitrat

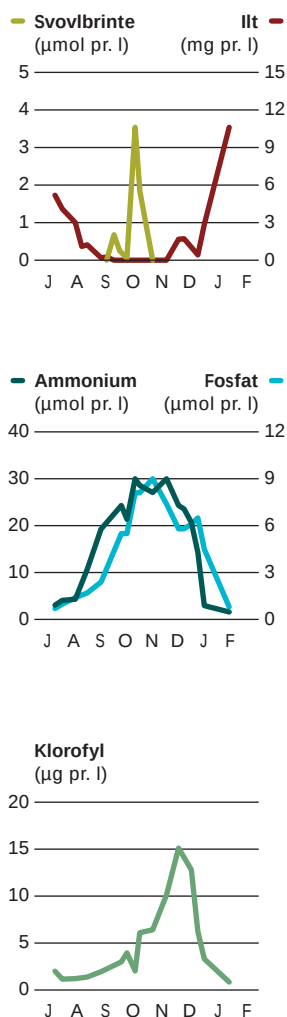
I dagspressen har man flere gange kunnet læse, at nitrat er et iltningmiddel, og

at nitrat derfor forbedrer forholdene i havet. Ved at se på ligningerne i figuren kan man imidlertid let se, at det er noget sludder. Nitrat bliver først og fremmest omdannet til ammonium, når det bliver indbygget i algerne ved deres fotosyntese i overfladevandet. Og når kvælstoffet er bundet i algerne, bidrager det senere til iltsvindet – nemlig når algerne bliver nedbrudt under forbrug af ilt i bundvandet.

Nitrat virker kun som et betydende iltningmiddel for en enkelt bakteriegruppe, nemlig de denitrificerende bakterier. De nedbryder organisk materiale og bruger nitrat til processen i stedet for ilt. Processen sker imidlertid kun,

når der ikke er ilt til stede, og den har kun meget ringe betydning for den samlede omsætning af kulstof. Man har beregnet, at mindre end 3% af det organiske stof i bunden af Århus Bugt bliver nedbrudt ved denitrifikation.

Desværre er der ingen fisk eller andre dyr og planter, der kan ånde med nitrat. Så selv om nitrat kemisk set er et iltningmiddel, bidrager store mængder nitrat i havet kun til at forværre iltforholdene i bundvandet, når det efter at være indbygget i plante-materiale igen frigøres ved nedbrydningsprocessen.



Figur 4-7

Mængden af ilt, svovlbrinte, ammonium og fosfat i bundvandet samt mængden af klorofyl i overfladevandet af Lillebælt fra juli 2002 til februar 2003. Klorofyl anvendes som mål for, hvor mange planktonalger der er.

Data fra Fyns Amt.

I de danske fjorde og i de kystnære områder ser man virkningen af dette samspil om sommeren. Her giver en stor omsætning af organisk materiale i havbunden en høj produktion af svovlbrinte, der konkurrerer med fosfat om iltet jern. På et tidspunkt har havbunden ikke længere iltet jern nok til at holde på fosfaten. Svovlbrinten fortrænger ganske enkelt det fosfat, der er bundet til jern, og fosfat bliver frigivet fra havbunden til vandet.

Iltsvind frigiver mange næringsstoffer

Under et iltsvind frigiver havbunden altså både kvælstof og fosfor, og der kan være tale om ganske betydelige mængder.

Fra Fyns Amt har man et konkret eksempel fra det omfattende iltsvind i efteråret 2002. Amtet målte løbende gennem året indholdet af ilt, svovlbrinte, ammonium og fosfat samt mængden af alger (klorofyl) i det sydlige Lillebælt. I slutningen af august forsvandt iltet helt fra bundvandet, og allerede få uger senere var der svovlbrinte i bundvandet (figur 4-7).

Der blev også frigivet meget ammonium og fosfat fra havbunden til bundvandet under iltsvindet, og det førte til flere alger i overfladevandet. Faktisk førte de mange nye næringsstoffer til en opblomstring af planktonalger så sent som i begyndelsen af december måned (figur 4-7).

For Århus Bugt har man lavet en matematisk model, der beskriver, hvor meget kvælstof og fosfor der frigives fra havbunden under dårlige iltforhold. Modellen viser tydeligt, at frigivelsen af både fosfor og kvælstof fra bunden er størst sidst på sommeren i perioder med dårlige iltforhold. Beregningerne viser også, at der gennem sommeren kommer mere kvælstof og fosfor fra havbunden, end der gør fra land, mens tilførslen fra land er vigtigst om vinteren. Det er faktisk det generelle billede, man nu ser i de fleste fjorde.

Tilførsel fra luften

Også luften – eller atmosfæren – indeholder næringsstoffer, og den er en vigtig næringsstofkilde for havet. Det er især kvælstof-næringsstoffer i luften, der har betydning for algernes vækst. Indholdet af fosfor er derimod lavt.

Kvælstof tilføres havet fra atmosfæren på to måder. Enten tilføres det som gas (tørdeposition) eller også tilføres det opløst i regndråber (våddeposition). Nedbøren tilfører hovedparten af kvælstoffet fra atmosfæren, og ligesom regnen vasker næringsstoffer ud af jorden, vasker den også kvælstof ud af luften og ned på jorden eller i havet. Variationer i nedbør fra

år til år har altså også indflydelse på, hvor meget kvælstof der leveres fra atmosfæren (figur 4-8).

Omkring halvdelen af det kvælstof, der falder ned på havoverfladen i de indre farvande, er indbygget i ammoniak (NH_3) og ammonium (NH_4). Det stammer hovedsageligt fra fordampning fra stalde, gyllebeholdere, møddinger og udbragt gylle. Den anden halvdel af kvælstoffet er indbygget i kvælstofilter (NO_x), der opstår, når man afbrænder kul, olie, benzin o.l. i motorer, oliefyr, industri og kraftværker.

Mere end halvdelen af det kvælstof, der tilføres Kattegat og Bælthavet fra atmosfæren, stammer fra andre lande end Danmark, Tyskland og Sverige, der grænser op til de indre farvande. I 2001 udgjorde bidraget fra danske kilder fra 15 til 30% af det samlede nedfald fra atmosfæren til de indre farvande. Det danske bidrag var mindst i det sydlige Bælthav og størst i Kattegat.

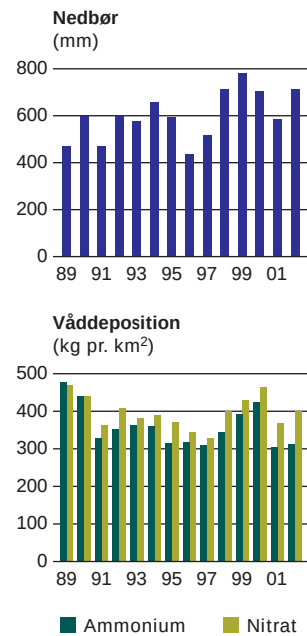
Ser man alene på Danmarks andel, bidrager fordampningen af ammoniak fra dansk landbrug med tre gange så meget kvælstof til Kattegat som afbrænding af fossilt brændstof.

Let forenklet kan man sige, at kvælstofilter kan transporteres langt i atmosfæren, mens ammoniak ikke kommer langt væk fra kilden, før det falder ned igen. Vi får med andre ord selv meget af vores egen ammoniak i hovedet igen, mens vi i højere grad eksporterer kvælstof fra forbrænding til andre lande.

Det kvælstof, der binder sig til partikler i atmosfæren, kan opholde sig her i mere end en uge. Vinden kan transportere partiklerne mere end 1.000 km, inden de atter ender på jorden eller i havet. Kvælstof fra atmosfæren bliver derfor transporteret til danske havområder fra en stor del af Europa. De fremherskende vindretninger betyder, at Danmark modtager en del kvælstof fra det europæiske kontinent, bl.a. fra Tyskland, Polen og Holland. Selv om Sverige ligger lige så tæt på Danmark, bidrager svenske kilder mindre, fordi vinden ofte blæser fra sydvest mod nordøst.

Af det samlede kvælstofbidrag fra atmosfære og land kommer omkring en tredjedel af det kvælstof, der ender i Kattegat og Bælthavet, fra atmosfæren (0,9 og 1,1 tons kvælstof pr. km^2 i henholdsvis Kattegat og Storebælt i 2002).

Det er i de åbne farvande, at atmosfærens bidrag af kvælstof har størst betydning for algernes vækst. Dels har de åbne farvande et stort overfladeareal, og de modtager derfor en stor andel fra atmosfæren i forhold til det, der kommer fra land. Dels er bidraget fra atmosfæren forholdsvis større end



Figur 4-8

Den årlige nedbør og våddosition af kvælstof på Anholt i perioden 1989-2002. På trods af den generelt stigende nedbørsmængde er der et generelt fald i depositionen af kvælstof fra atmosfæren gennem perioden.

Figur 4-9

De samlede tilførsler af kvælstof til de indre farvande fra de omgivende lande, atmosfæren og de tilstødende farvande angivet som gennemsnit over en længere årrække. Tallene er i 1.000 tons pr. år. Kvælstof fra Skagerrak tilføres med det indstrømmende bundvand, mens de andre tilførsler sker til overfladevandet.



bidraget fra land om sommeren, hvor kvælstof netop begrænser algerne produktion i de åbne farvande.

Fjordene er godt nok tættere på landbrugets kilder, hvor ammoniak fordampes, og bidraget fra atmosfæren er derfor større pr. km² vandoverflade her (i 2002 oftest 1,1-1,6 tons kvælstof pr. km², højest i jyske fjorde og lavest på Sjælland). Til gengæld er overfladearealet lille, og dermed er atmosfærebidraget ikke så stort som det, der kommer direkte fra land via vandløb.

Siden 1989 er der kommet mindre kvælstof fra atmosfæren til de indre farvande. I 2001 kom der ca. 15% mindre end i 1989 (figur 4-8). Selv om variationer i vind og vejr giver store variationer fra år til år, er reduktionen et bevis på, at nationale og internationale forsøg på at nedsætte udslippet af kvælstof til atmosfæren virker.

Tilførsel fra Østersøen og Skagerrak til de indre farvande

Den sidste store kilde af næringsstoffer til de indre farvande er de tilstødende havområder.

Fra Skagerrak strømmer der salt vand ind langs bunden af Kattegat. Vandet indeholder næringsstoffer, som kan være vigtige for produktionen af alger i de åbne indre farvande.

Fra den modsatte ende løber der i gennemsnit årligt omkring 950 km³ vand fra Østersøen op gennem de danske bælter og Kattegat til Skagerrak og Nordsøen. Disse enorme mængder vand fører også en betragtelig mængde næringsstoffer til de indre farvande (figur 4-9).

Næringsstoffer fra Skagerrak og Jyllandsstrømmen

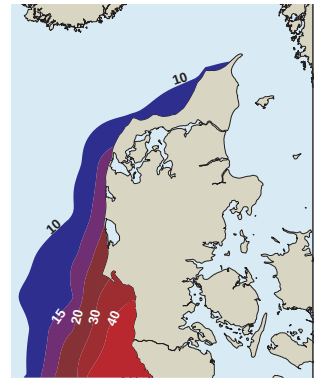
Det vand, der strømmer fra Skagerrak til Kattegats bundvand, er blandet af forskellige vandmasser. De forskellige vandmassers andele varierer, men består hovedsageligt af vand fra den centrale Nordsø blandet med oceanisk vand fra Nordøstatlanten og vand fra Den jyske Kyststrøm, også kaldet Jyllandsstrømmen.

Jyllandsstrømmen fører vand fra Tyske Bugt op langs den jyske vestkyst og ind i Skagerrak (figur 4-10). Hovedparten af vandet tager en tur rundt langs kysterne i Skagerrak, inden det forsvinder op langs Norges vestkyst og ud i Norskehavet. En mindre del af vandet fra Jyllandsstrømmen føres imidlertid ind i bundvandet i Kattegat og Bælthavet. I gennemsnit stammer ca. 10% af det vand, der strømmer fra Skagerrak til Kattegat, fra Tyske Bugt.

Den andel, de forskellige vandmasser udgør af den samlede vandmasse, er interessant, fordi der er forskel på, hvor mange næringsstoffer de indeholder. Koncentrationen af næringsstoffer i vandet fra den centrale Nordsø og i det Nordatlantiske vand er generelt ikke påvirket af menneskelige aktiviteter og er derfor forholdsvis lav. Tyske Bugt og dermed Jyllandsstrømmen modtager derimod næringsstoffer fra de europæiske floder, især fra Elben og Rhinen, der udmunder i den sydlige Nordsø.

Koncentrationen af kvælstof i vand fra Tyske Bugt er derfor i gennemsnit ca. 2½ gange højere end i det øvrige vand, der strømmer ind fra Skagerrak. Og i gennemsnit stammer op til 22% af den totale mængde kvælstof, der strømmer fra Skagerrak til Kattegat, fra Tyske Bugt. Men kun en del af dette kvælstof er biologisk aktivt og kan derfor bruges af algerne.

Specielle vejrforhold betyder, at Jyllandsstrømmen i enkelte år transporterer ekstra mængder kvælstof fra Tyske Bugt til Kattegat. Den største kendte indstrømning fandt sted i februar-marts 1989, hvor mindst 13.000-17.000 tons ekstra nitrat strømmede ind med vand fra Jyllandsstrømmen. I de følgende måneder kunne man følge det nitratholdige vand mod syd i de indre farvande, indtil det i maj nåede det sydlige Bælthav.



Figur 4-10
Jyllandsstrømmen, der bevæger sig fra Tyske Bugt og videre op langs den jyske vestkyst og ind i Skagerrak, indeholder højere koncentrationer af næringsstoffer end resten af Nordsøvandet. På kortet er vist det gennemsnitlige indhold af nitrat (µmol pr. liter) i de øverste 10 m af vandsøjlen i februar måned for perioden 1986-1993.

Også i marts 2002 var der en mindre ekstra indstrømning af kvælstof fra Tyske Bugt til Kattegat. Det ekstra tilskud af nitrat kan dog kun have haft en begrænset virkning på efterårets iltsvind, da det kun udgjorde en lille del af de samlede tilførsler af kvælstof.

Næringsstoffer fra Østersøen

Overfladevandet, der strømmer ind i Øresund og Bælthavet fra Østersøen, er meget mere ensartet end det vand, der strømmer fra Skagerrak til Kattegats bundvand. Det har samtidig et meget lavt indhold af biologisk aktivt kvælstof – faktisk er der kun halvt så meget af det som i vandet fra Skagerrak.

Det lavere indhold af biologisk aktivt kvælstof skyldes især vandets lange opholdstid i Østersøen. Hele Østersøen øst for Gedser Rev modtager store mængder næringsstoffer (i 2000 ca. 900.000 tons kvælstof fra land og atmosfæren og 31.400 tons fosfor), men da vandet opholder sig 25-30 år i Østersøen, bliver en stor del af næringsstofferne fjernet ved denitrifikation og permanent deponering i havbunden, inden vandet strømmer ud gennem de indre farvande til Skagerrak og Nordsøen.

Hvor mange af næringsstofferne kan algerne bruge?

Det er først og fremmest mængden af kvælstof i det gennemstrømmende vand, der er interessant, da det som nævnt er kvælstof, der begrænser algernes vækst i de åbne farvande.

Men det er et kompliceret regnestykke at gøre op, hvor meget kvælstof der kommer fra de tilstødende farvande, og hvilken rolle det spiller. Der er mange ting, man skal være opmærksom på.

Figur 4-11

Algerne i havet kan kun bruge det kvælstof, der er biologisk aktivt.

Foto: Helene Munk Sørensen,
Århus Amt.



En del af det kvælstof, der kommer ind med vandet fra Skagerrak, forsvinder ved, at bakterier i havbunden omdanner det til frit kvælstof ved denitrifikation (se side 69); så kan det ikke bruges af algerne. En anden del løber direkte videre med bundvandet til Østersøen og når derfor ikke op i de vandlag, hvor der er tilstrækkeligt lys til, at algerne kan vokse og bruge det. Endelig stammer en del af det kvælstof, der løber ind i Kattegat fra Skagerrak, i virkeligheden fra Kattegats eget overfladevand. Alger, der er vokset frem i Kattegats overfladevand, transporteres nemlig nordpå til Skagerrak, hvor de daler ned og afgiver deres kvælstof til det bundvand, der igen strømmer ind i Kattegat.

Man bliver også nødt til at indregne, at algerne ikke kan bruge alle former for kvælstof. Kun det biologisk aktive kvælstof har betydning for algernes vækst. Det er uorganisk kvælstof som f.eks. nitrat og ammonium plus kvælstof, der er bundet i organiske forbindelser i alger og bakterier.

Kvælstof, der er bundet i rester af gamle planter (humusstoffer), er ikke aktivt, før lys og bakterier har nedbrudt humusstofferne og derved har gjort kvælstoffet tilgængeligt for algerne. Nedbrydningen er imidlertid en langsom proces i forhold til den tid, vandet opholder sig i Kattegat og Bælthavet. Kvælstof, der frigives fra humus, har derfor næppe nogen større betydning. Da 70-90% af alt kvælstof i vand fra henholdsvis Skagerrak og Østersøen er bundet i humus, er det kun en mindre del af det kvælstof, der føres til de indre farvande med havstrømme, der reelt er interessant for algerne. Men præcist hvor meget ved man endnu ikke nok om.

Samlet set bidrager havstrømmene altså med ca. 75% af alt det kvælstof, der tilføres de indre farvande fra land, vand og luft. Men alle de nævnte forhold betyder, at det kvælstof, der kommer med havstrømmene, og som kan bruges direkte til algevækst, formodentlig kun udgør omkring 30% af den totale tilførsel af kvælstof.

Kvælstofbudget for de indre farvande

Zoomer man ud, er det muligt at få et billede af alle kvælstofbidragene og give et bud på det samlede kvælstofbudget for de indre farvande. Det giver mulighed for at vurdere, hvilke knapper man kan skrue på for mest effektivt at reducere tilførslen af kvælstof og dermed mindske risikoen for iltsvind.

De enkelte kilder i kvælstofbudgettet varierer meget fra år til år afhængigt af vejrforholdene. Tabel 4-3 præsenterer derfor bidraget fra de forskellige kilder som et gennemsnit over en



Figur 4-12
Kiselalger er de mængdemæssigt vigtigste planktonalger i de indre farvande.

Foto: Nina Lundholm og Jette Skov.

	Samlet kvælstof- mængde (1.000 tons)	Biologisk aktivt kvælstof (1.000 tons)	Korrigeret for recirkulation mellem Kattegat og Skagerrak (1.000 tons)	Procentvis andel af biologisk aktivt kvælstof efter korrektion for recirkulering
Danmark	70	64	64	32%
Sverige	28	23	23	11%
Tyskland	24	23	23	11%
Andre lande via atmosfæren	26	26	26	13%
Skagerrak	223	89	39	19%
Østersøen	217	28	28	14%
Total	588	253	203	100%
Dansk andel (%)	12%	25%	32%	

Tabel 4-3

Samlede kvælstoftilførsler fra de omgivende lande, atmosfæren og de tilstødende farvande til Kattegat, Øresund og Bælt-havet. Den del der kommer fra atmosfæren fra hhv. Danmark, Sverige og Tyskland er indregnet i disse landes bidrag. Se tekst for forklaring på biologisk aktivt kvælstof og recirkulation mellem Kattegat og Skagerrak.

længere årrække. I denne opstilling bidrager Danmark kun med lige godt en tiendedel af den samlede kvælstoftilførsel. Men som netop beskrevet må man vurdere flere ting, før det er klart, hvor meget brugbart kvælstof algerne i overfladevandet får fra de forskellige kilder. Første skridt er at beregne det kvælstof, som algerne ikke kan bruge, og fjerne det fra regnskabet. Det kan man gøre ud fra en viden om, hvilken kemisk form kvælstoffet har, samt en viden om, hvilken værdi de forskellige kvælstofformer har som gødning for algerne. Det kvælstof, algerne kan bruge, kaldes som nævnt biologisk aktivt.

Resultatet af vurderingen er, at algerne kan udnytte alt det kvælstof, der kommer fra atmosfæren, ca. 90% af det der kommer fra land, mens det kun er ca. 10 og 30% af det kvælstof, der kommer fra hhv. Østersøen og Skagerrak, der er noget værd for algerne.

Inddrager man disse forhold i regnskabet, ser man, at Danmarks bidrag til den kvælstofmængde, der er tilgængelig for algerne, udgør ca. 25%. Indregner man desuden recirkulationen mellem Kattegat og Skagerrak, stiger Danmarks bidrag til ca. 32% (tabel 4-3).

Havstrømmenes bidrag og værdien af dette kvælstof for algerne er som nævnt vanskeligt at bestemme, og andre beregninger viser, at Danmarks bidrag er ca. 28%. Der er derfor enighed om størrelsesordenen af Danmarks andel: Vi bidrager med omkring 30% af det aktive kvælstof, der tilføres de åbne indre farvande.

Næringsstofferne står ikke alene

Som tidligere omtalt er det ikke alene mængden af næringsstoffer, der bestemmer, om der opstår iltsvind eller ej. Det omfattende iltsvind i 2002 er et godt eksempel på, hvordan mange enkelte forhold spiller sammen.

Iltsvindet i 2002

Tilledningerne af næringsstoffer til havet var store i 2002 – både i vinter- og sommermånederne. Men ikke større end man har set tidligere, hvor iltsvindet var betydeligt mindre (figur 4-2). Udviklingen i 2002 viser derfor, hvordan de meteorologiske forhold har afgørende betydning for, om en stor tilførsel af næringsstoffer også fører til omfattende iltsvind.

Vindens styrke og retning er afgørende for forsyningen af ilt til bundvandet. Vinden kan blande det iltrige overfladevand og det iltfattige bundvand og kan også sikre tilførsel af nyt iltrigt bundvand med havstrømme.

I sensommeren og efteråret 2002 var vinden svagere end normalt i perioden fra august til december. Især i august-september var vindens blanding af overflade- og bundvand meget ringe. Samtidig blæste det mest fra østlige retninger. Det blokerede for den indstrømning af iltrigt vand fra Skagerrak til bundvandet i Kattegat og Bælthavet, som fortrinsvis finder sted ved vestlig vind. Den specielle vejr-situation hæmmede altså begge forsyningsveje for ilt til bunden.

I løbet af sommeren og efteråret 2002 var temperaturen i overfladevandet også højere end normalt. Det betød, at forskellen i vægtfylde mellem bundvand og overfladevand var større end normalt. Det gav en stabil lagdeling i vandsøjlen – et meget stærkt springlag – som det kræver meget vindenergi at bryde. En stor udstrømning af ret fersk vand fra Østersøen i anden halvdel af 2002 gjorde overfladevandet endnu lettere og forstærkede lagdelingen yderligere.

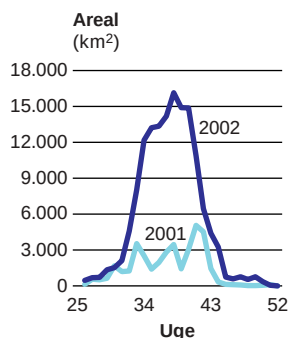
Den meget lange og ret vindstille periode, de høje temperaturer i overfladevandet og den store udstrømning af lettere vand fra Østersøen gav altså en ualmindelig kraftig lagdeling, der afskar havbunden fra forsyning af ilt fra overfladelaget. Specielt de lavvandede områder som det vestlige Kattegat og Smålandsfarvandet blev ramt af disse vejrforhold. Her ville vinden ellers normalt have blandet vandsøjlen med jævne mellemrum. Da den fremherskende østlige vindretning samtidig gjorde, at der kun kom lidt iltrigt bundvand fra Skagerrak, fik Kattegat, Øresund og Bælthavets bundvand kun tilført ubetydelige mængder ilt fra juli til slutningen af okto-

Figur 4-13

Efter det omfangsrige iltsvind i 2002, blev der gennemført en række undersøgelser for at beskrive omfanget af skader på bunddyrene. Her bliver der taget en prøve af havbunden i november 2002 (se også figur 3-14).

Foto: Anders Engell-Kofoed.





Figur 4-14

Det samlede areal ramt af iltsvind i rekordåret 2002 sammenlignet med 2001, som var et gennemsnitsår med hensyn til styrke og udbredelse af iltsvind. Til sammenligning udgør arealet af Sjælland ca 7.500 km² (se også figur 7-2).

ber. Den store tilledning af næringsstoffer fra land kombineret med disse forhold var den direkte årsag til det rekordstore og langvarige iltsvind i 2002 (figur 4-14).

Variationer i klimaet

Vind- og vejrforhold har altså stor betydning for forholdene i de danske havområder. Set i et længere perspektiv er der måske endnu større meteorologiske kræfter, der spiller ind. Nemlig den såkaldte Nordatlantiske Oscillation, NAO, der præger vejret i det nordatlantiske område. NAO er simpelthen forskellen mellem det atmosfæriske tryk over Portugal (Lissabon eller Azorerne) og Island. NAO veksler fra år til år mellem lav og høj, men der er tilsyneladende perioder på 10-20 år, hvor NAO om vinteren er enten generelt lav eller generelt høj.

Ved en høj NAO er der højere tryk over Portugal og lavere tryk over Island. Det giver kraftige vestenvinde og flere storme over Nordvesteuropa, og våde og milde vintre i det nordlige Europa. En periode med overvejende høj NAO om

Figur 4-15

Variationer i klimaet påvirker også havmiljøet i Danmark.

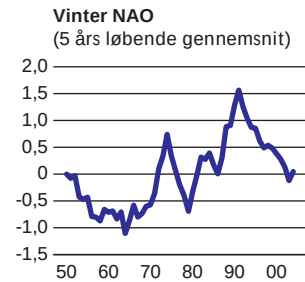
Foto: Peter Bondo Christensen.



vinteren udelukker dog ikke, at der om sommeren kan forekomme lange perioder med stille vejr og østlige vinde som i 2002. Når NAO er lav, blokeres der for vestenvindene, og der kommer tør og kold luft ind fra Asien over det nordlige Europa.

En længere periode med høj NAO har sikkert medvirket til de forholdsvis milde vintre i de sidste 15-20 år. Det har også betydet højere havtemperaturer og har påvirket havstrømme i det nordatlantiske område. Den høje NAO har formodentlig også givet mere nedbør og dermed mere ferskvand til Østersøen. Det betyder, at der er strømmet flere km³ vand fra Østersøen til Kattegat.

Det ser imidlertid ud til, at NAO generelt er aftagende. I 2003 og 2004 lå NAO på omkring middel for perioden 1950-2000 (figur 4-16). Det kan betyde, at en periode med koldere og mere tørre vintre måske er på vej. Hvis det er tilfældet, vil det give mindre udvaskning af næringsstoffer og mindre udstrømning fra Østersøen, og det vil alt andet lige være til gavn for de indre danske farvande.



Figur 4-16

Variationer i NAO-indeks som et gennemsnit af indeks i januar, februar og marts måned fra 1950-2004.





Hvad bliver der gjort?

Omfattende iltsvind begyndte at optræde i danske farvande i 1980'erne. Siden da har politikere gennemført en lang række nationale og internationale handlingsplaner og EU-direktiver for bl.a. at modvirke disse iltsvind. Men er det tilstrækkeligt? Og hvordan vil ændrede nedbørs- og klimaforhold påvirke iltsvind i fremtiden? Det er vanskelige spørgsmål, som man kan nærme sig et svar på ved at bruge modeller, der beskriver sammenhængen mellem tilførsel af næringsstoffer, klima og miljøtilstanden i de enkelte havområder.

Foto: Ole Schou Hansen.

I næsten 20 år har der været arbejdet på at begrænse iltsvind i de danske farvande og dermed de skader, som iltsvind påfører havets dyr og planter. Det er først og fremmest sket ved at nedsætte udledningen af næringsstoffer til havet gennem nationale handlingsplaner, gennem internationalt havmiljø-samarbejde og gennem EU-regler.

Nationale handlingsplaner

Vandmiljøplan I fra 1987 opstillede for første gang konkrete mål for at nedsætte udledninger fra de tre største næringsstofkilder til vandmiljøet i Danmark: landbrug, kommunale renseanlæg og industrier med egen udledning. Det overordnede mål var at nedsætte de samlede udledninger af kvælstof med 50% og fosfor med 80%. Det skulle ske ved en differentieret indsats, hvor landbruget f.eks. skulle nedsætte deres udledning af kvælstof med 49%, mens renseanlæg og industrier skulle nedsætte deres med 60%.

Landbrugets årlige tab af kvælstof fra de dyrkede arealer (markbidrag) og de direkte udledninger fra selve gårdene (gårdbidrag) skulle ifølge planen nedsættes fra ca. 260.000 til 133.000 tons pr. år, svarende til en reduktion på 49%. Reduktionsmålet på 127.000 tons var fordelt med 100.000 på markbidrag og ca. 27.000 på gårdbidrag. Samtidig skulle udledningen af fosfor fra gårdene (gårdbidraget af fosfor) reduceres fra ca. 4.400 tons til 400 tons pr. år. Tab af fosfor fra dyrkede arealer var ikke omfattet af Vandmiljøplan I, da der var stor usikkerhed om størrelsen af tabet.

Udledning af kvælstof fra kommunale renseanlæg skulle reduceres fra 18.000 til 6.600 tons pr. år, mens udledningerne af fosfor skulle reduceres fra 4.470 til 1.220 tons pr. år (tabel 5-1).

Tabel 5-1

Mål og reduktionsmål i Vandmiljøplan I fra 1987 for vandmiljøets tre største næringsstofkilder i Danmark. I landbrugets udledninger indgår både markbidraget og gårdbidraget. Senere vurderinger viste at landbrugets udledninger i 1980'erne var 311.000 tons i stedet for 260.000 tons. De justerede tal er angivet i parentes.

Sektor	Kvælstof					Fosfor				
	1987	÷	Reduktion	%	= Mål	1987	÷	Reduktion	%	= Mål
Landbrug	260.000 (311.000)	÷	127.000 (152.400)	49	= 133.000 (158.600)	4.400	÷	4.000	91	= 400
Renseanlæg	18.000	÷	11.400	63	= 6.600	4.470	÷	3.250	73	= 1.220
Særskilte industri-udledninger	5.000	÷	3.000	60	= 2.000	1.250	÷	1.050	84	= 200
Total	283.000 (334.000)	÷	141.400 (166.800)	50	= 141.600 (167.200)	10.120	÷	8.300	82	= 1.820



De særskilte udledninger fra industrier skulle reduceres fra 5.000 til 2.000 tons kvælstof pr. år og fra 1.250 til 200 tons fosfor pr. år (tabel 5-1).

I alt skulle de årlige udledninger og tab altså reduceres fra et niveau på omkring 283.000 tons kvælstof og 10.120 tons fosfor, da planen blev vedtaget, til et niveau på ca. 141.600 tons kvælstof og ca. 1.820 tons fosfor (tabel 5-1). Dette svarer til en reduktion af udledningerne af kvælstof og fosfor på henholdsvis 50% og 80%. Tidsfristen for disse reduktioner blev i 1987 sat til tre år. Det blev imidlertid hurtigt klart, at det ikke var muligt at opfylde kravene inden for denne tidsramme, og fristen blev derfor udsat til 1. januar 1993.

Målene for reduktion af fosfor blev opfyldt midt i 1990'erne, mens målene for kvælstof har været væsentligt sværere at opfylde. Der er derfor løbende foretaget flere justeringer i de dele af planen, som vedrører landbruget. I 1991 blev "Handlingsplan for en bæredygtig udvikling i landbruget" vedtaget, og i 1994 blev der fremlagt en 10-punktsplan for beskyttelse af grundvand og drikkevand.

I 1998 blev Vandmiljøplan II vedtaget, bl.a. som en konsekvens af det alvorlige iltsvind i Mariager Fjord i 1997, men især for at opfylde EU's Nitratdirektiv. I denne plan blev der taget flere nye redskaber i brug for at nå Vandmiljøplan I's mål for landbrugets kvælstoftab fra markerne.

Figur 5-1
Renseanlæg Lynetten i Københav.

Foto: Lynettefællesskabet I/S.

Forudsætningerne ændret

I Vandmiljøplan I var målet dels at nedsætte mark- og gårdbidraget til kvælstofudledningerne med 127.000 tons (det svarer til 49% af 260.000 tons), dels at den årlige udledning skulle begrænses til 133.000 tons (260.000 minus 127.000 tons).

Udgangspunktet for landbrugets reduktion af kvælstofudledning fra marker og gårde var altså på 260.000 tons. Siden har nyere faglige vurderinger imidlertid vist, at landbrugets bidrag i 1980'erne var væsentligt højere end først antaget, formentlig omkring 311.000 tons kvælstof om året (tabel 5-1).

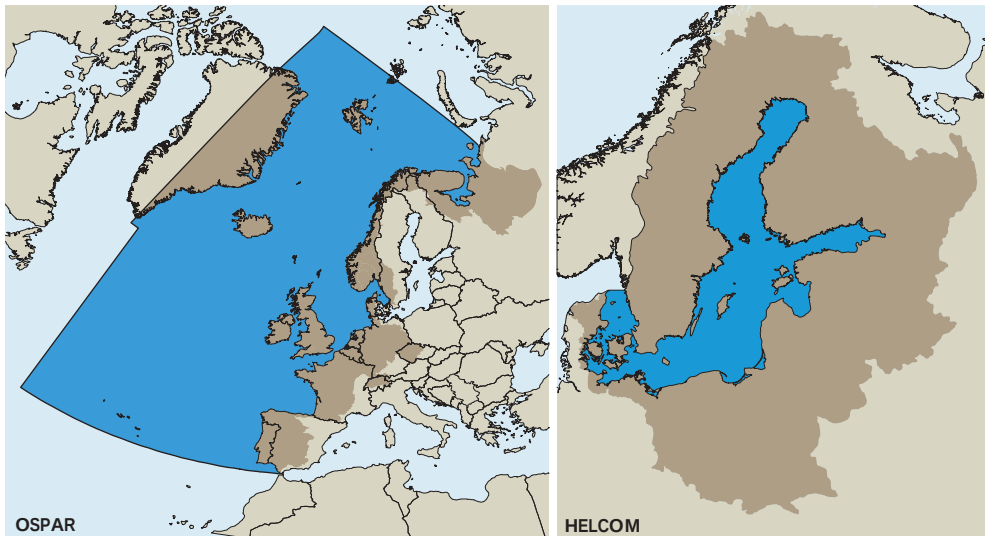
En evaluering i december 2003 af landbrugets tab af kvælstof til vandmiljøet tog derfor fornuftigt nok udgangspunkt i den højere udledning i 1980'erne. Ifølge evalueringens konklusioner vil de ændringer, der allerede er gennemført i dansk landbrugspraksis sammen med de øvrige tiltag, der er vedtaget og finansieret under Vandmiljøplan I og II, resultere i en formindsket udledning fra landbruget (mark- og gårdbidrag) på omkring 149.000 tons kvælstof om året. Det svarer til en reduktion på ca. 48% af de 311.000 tons. Tager man usikkerheden på beregningerne i betragtning, svarer det til, at målsætningen om en reduktion i kvælstoftabet på 49% stort set bliver opfyldt.

Man kan ikke præcist sige, hvornår reduktionen slår igennem i udledningerne til havet, men reduktionen af landbrugets kvælstoftab er et væsentligt fremskridt, som vil komme havmiljøet til gode på længere sigt. Man skal dog regne med, at det kan tage flere år, før indsatsen slår fuldt igennem i kystvandene. Tidshorizonten afhænger bl.a. af undergrunden og jordbundsforholdene, den vej det udvaskede kvælstof skal transporteres til havet.

Internationalt samarbejde

Da forureningen af havet er grænseoverskridende, har både landene omkring Nordsøen og landene omkring Østersøen et tæt samarbejde (figur 5-2). Tilførsler af næringsstoffer og iltsvind har været på dagsordenen mange gange, og landene er enige om, at problemerne kun kan løses ved en fælles indsats.

Allerede i 1987 vedtog Danmark sammen med de andre lande omkring Nordsøen – dog uden Storbritannien – at reducere tilførslerne af kvælstof og fosfor med 50% til de områder af Nordsøen, Skagerrak og Kattegat, hvor udledningerne kunne skabe problemer. I denne sammenhæng har Danmark valgt at udpege alle de danske farvande som såkaldte problemområder. I 1988 blev beslutningen bakket op af alle de



nordøstatlantiske lande (OSPAR-konventionen). Som opfølgning på denne beslutning vedtog landene i 1998, at både det overordnede mål om et havmiljø uden overgødning og et specifikt mål om at fastlægge egentlige miljøkvalitetsmål skal være nået senest i 2010.

Tilsvarende vedtog landene omkring Østersøen i 1988 at reducere udledningerne af næringsstoffer til vandmiljøet med 50% over en 10-årig periode (Helsinki-konventionen). Da målet ikke blev nået inden for denne tidsramme, besluttede Østersølandene i 1998 at definere specifikke mål for reduktion af udledning af næringsstoffer fra forskellige sektorer (f.eks. landbrug, renseanlæg og transport). Disse mål skal nås før år 2005.

Nordsølandenes beslutning om at nedsætte tilførslerne af kvælstof til problemområder i havet med 50% er et skærpet krav i forhold til de danske planer – Vandmiljøplan I og II. Vandmiljøplanernes reduktionsmål på 50% for kvælstof og 80% for fosfor handler nemlig ikke om udledningerne til havet, men om tabet og udledningerne fra de tre største kilder (landbrug, kommunale renseanlæg og industri) til hele vandmiljøet. Da der også kommer kvælstof fra naturarealer, vil vandmiljøplanernes krav til landbruget om at begrænse udledningen af kvælstof med 49% reelt betyde, at de samlede kvælstofudledninger til havet gennem vandløbene kun reduceres med 35-40%.

Figur 5-2

Landene omkring Nordsøen og Østersøen har et tæt samarbejde om havmiljøet gennem OSPAR-konventionen og Helsinki-konventionen (HELCOM). Kortene viser, hvilke havområder der er dækket af de to konventioner, og de områder, der leder næringsstoffer ud til disse havområder (afstrømningsområderne). Bemærk, at Kattegat indgår i begge konventioner.

EU-lovgivning

En række EU-direktiver stiller krav om at beskytte vandmiljøet. De direktiver, som især har betydning i forhold til iltsvind, og som er indført i den danske lovgivning, er Byspildevandsdirektivet fra 1991, Nitratdirektivet fra 1991 og Habitatsdirektivet fra 1992.

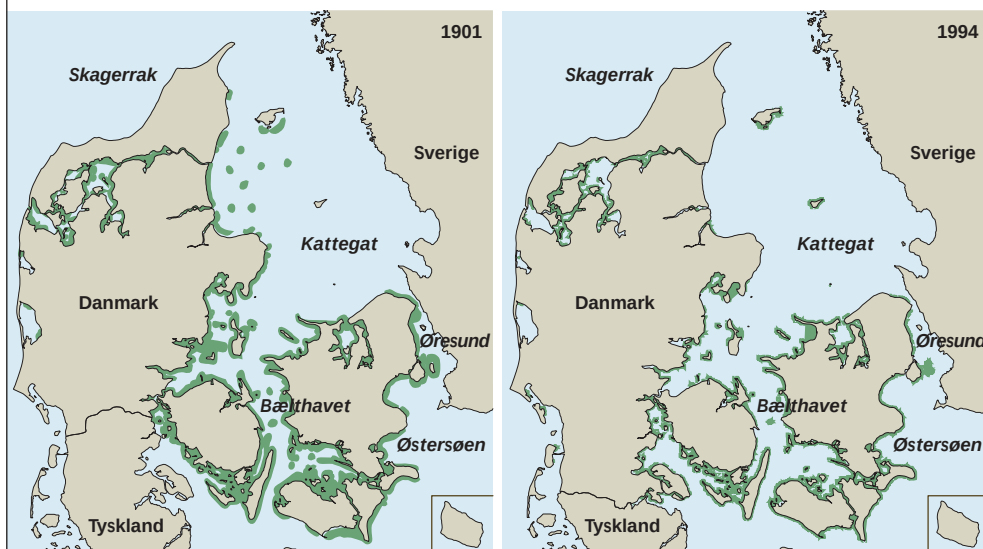
I december 2000 trådte Vandrammedirektivet i kraft. Det nye direktiv betragtes som et gennembrud for europæisk politik på vandmiljøområdet og har som formål at beskytte vandløb, søer, overgangsvande, flodmundinger, kystvande og grundvand.

Det skal bl.a. ske ved:

1. at forebygge yderligere forringelse af vandmiljøet samt beskytte og forbedre dets tilstand,
2. at fremme en bæredygtig anvendelse af vand, der er baseret på en langsigtet beskyttelse af tilgængelige vandressourcer og
3. at gennemføre specifikke foranstaltninger til at beskytte og forbedre vandmiljøet og bl.a. sikre en vedvarende nedsættelse af udledninger af bestemte stoffer til miljøet.

Figur 5-3
Udbredelse af ålegræs i 1901 og 1994. I dag er ålegræssets udbredelse begrænset af vækst af hurtigtvoksende planktonalger og tang, der skygger for det.

Kystvandene skal som udgangspunkt have en god økologisk tilstand. Relativt store dele af de indre farvande er defineret som kystvande i forbindelse med Vandrammedirektivet – se



boks 1-1. Det er i høj grad en politisk beslutning at definere, hvad "god økologisk tilstand" dækker over. Vandrammedirektivet indeholder imidlertid en række retningslinier for, hvad en god økologisk tilstand er. I direktivet hedder det bl.a., "at en høj eller god økologisk tilstand" karakteriseres ved, at "værdierne for de biologiske kvalitetselementer udviser niveauer, der er svagt ændrede som følge af menneskelig aktivitet, men kun afviger lidt fra, hvad der normalt gælder under uberørte forhold". For at præcisere den gode miljøtilstand kan man derfor bl.a. seke til de undersøgelser af planter, dyr og miljøforhold fra danske havområder, der faktisk findes helt tilbage til begyndelsen af 1900-tallet (figur 5-3).

Inden 2009 skal myndighederne udarbejde indsatsplaner, der skal føre til, at de danske farvande kan opnå en "god økologisk tilstand" senest i 2015. Hvis det af forskellige grunde er urealistisk at nå målet inden for den fastsatte tidshorisont, kan tidsfristen forlænges med op til to gange seks år.

Vandrammedirektivets målsætning om en upåvirket eller kun svagt påvirket miljøkvalitet i kystvandene svarer stort set til den målsætning, som blev opstillet i de danske recipientkvalitetsplaner i midten af 1980'erne.

Er målene nået?

De mål, der blev opstillet i Vandmiljøplan I om at reducere udledningerne af kvælstof og fosfor fra renseanlæg og særskilte industriudledninger, blev nået i midten af 1990'erne. I slutningen af 2003 viste modelberegninger, at målet om at reducere udledningen af kvælstof fra gårdene og udvaskningen fra markerne med 49% næsten vil komme i hus, når de tiltag, der er vedtaget, bliver ført ud i livet.

Når man nu mere eller mindre har nået målet med de opstillede planer, kan det være vanskeligt at forstå, hvorfor der stadig er store mængder kvælstof i vores kystvande, og hvorfor miljøforholdene i vore fjorde og kystvande ikke er blevet markant bedre. En af forklaringerne er mængden af nedbør, som varierer ganske betydeligt fra år til år. Som beskrevet i kapitel 4, er mængden af nedbør afgørende for, hvor mange næringsstoffer der tilføres de danske kystvande fra land. Og efter de to ekstremt tørre år i 1996 og 1997 har mængderne af nedbør generelt været meget høje helt frem til 2002. Det har betydet en større udvaskning af næringsstoffer, og i hele perioden, undtagen 2001, er der tilført flere næringsstoffer til kystvandene end i et år med normale nedbørsmængder.

Når man vil vurdere, hvilken virkning vandmiljøplanerne har på udledningen af næringsstoffer fra Danmark til kystvandene, må man derfor fjerne den variation i udledningerne, der skyldes, at der kommer forskellige mængder nedbør fra år til år. Det kan man gøre ved at lave modelberegninger, der baserer sig på, hvor meget ferskvand og hvor mange næringsstoffer der strømmer til kystvandene. Når man kender de tal, kan man regne tilbage og få et mål for, hvad udledningen af næringsstoffer ville have været i hvert enkelt år, hvis der hvert eneste år var kommet lige meget nedbør, og afstrømningen derfor havde været ens. Disse tal kalder man for de afstrømnings- eller klimakorrigerede tal. Der er dog en vis usikkerhed på de korrigerede tal. De forskellige kilder, dvs. udvaskning fra landbrugsjorde, punktkilder til ferskvand og direkte punktkilder til kystvandene, reagerer nemlig forskelligt på den variation, der er i nedbør og afstrømning fra år til år.

De afstrømningskorrigerede tal viser, at tilførslen af kvælstof fra Danmark til kystvandene er faldet med ca. 40% fra 1989 til 2002. Vandmiljøplanerne har altså virket. Ca. 25% af dette fald skyldes en mindre udvaskning fra landbrugsjorde, mens de sidste ca. 15% skyldes en mindre udledning af kvælstof fra punktkilder, især renseanlæg og industri. I samme periode er tilførslerne af fosfor til kystvandene faldet med ca. 80%, udelukkende pga. en stærkt nedsat udledning fra punktkilderne, renseanlæg, industri og spredt bebyggelse, herunder fra landbrugets gårde. Tilførslen af fosfor, som stammer fra landbrugets marker, er derimod ikke faldet. Tværtimod er der faktisk en tendens til, at tilførslen af fosfor



Figur 5-4

Tilførslen af fosfor fra landbrugsjordene viser en stigende tendens. Bl.a. svinegylle indeholder fosfor, og når gyllen spredes på markerne, er den med til at opbygge et overskud af fosfor i jorden.

Fotos: Hans Ole Hansen (øverst) og Ole Schou Hansen.



fra landbrugsjorde er steget. Det gælder især til kystvandene i Nordsøen, Skagerrak og Kattegat. Det skyldes, at der stadig er et meget stort overskud af fosfor på markerne selvom fosforoverskuddet i landbruget nu er aftagende (figur 5-5).

De nævnte tal gælder for Danmark som helhed, men vandmiljøplanerne virker meget forskelligt rundt omkring i landet. Eksempelvis er den afstrømningskorrigerede udledning af kvælstof kun faldet med ca. 25 % i perioden fra 1989 til 2002 til de farvande, som indgår i aftalen med Nordsølandene – nemlig Nordsøen, Skagerrak og Kattegat og deres tilstødende kystvande (bl.a. Limfjorden og Mariager Fjord). Landbruget har bidraget med 15-20% af den reduktion. Tilsvarende er tilførslen af fosfor til de samme farvande kun reduceret med ca. 50% i den samme periode.

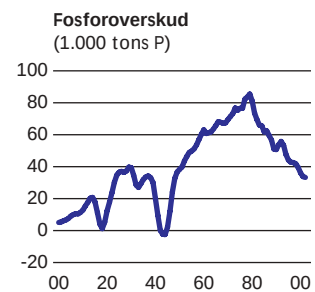
De indre farvande, dvs. Kattegat, Øresund og Bælthavet med tilstødende kystvande, indgår sammen med den lille danske del af Østersøen i aftalen med Østersølandene. Her var den afstrømningskorrigerede udledning af kvælstof reduceret med 50-55% i 2002, mens reduktionen af fosfor var på ca. 90%. Landbrugets andel af kvælstofreduktionen var ca. 35%.

Kvælstofbidraget til kystvandene i Nord-, Midt- og Vestjylland er altså reduceret langt mindre end bidraget til Bælthavet og Øresund. Dette kan skyldes mange forskellige ting. Langs Bælthavet og specielt langs Øresund er der f.eks. langt flere store byer og dermed store punktkilder. Flere store renseanlæg bidrager bl.a. til en større reduktion i den samlede udledning af næringsstoffer. Da udledninger fra punktkilder er blevet kraftigt reduceret, får de altså en større virkning på de samlede tilførsler af næringsstoffer fra land til Øresund og Bælthavet end i de øvrige danske kystvande.

Men også landbrugets bidrag er forskelligt. Regionale forskelle i undergrunden har bl.a. betydning for, hvor hurtigt man ser en virkning af ændringerne i udvaskningen af næringsstoffer fra landbruget. I Nord-, Midt- og Vestjylland består undergrunden især af sandjord eller kalk. Det udvaskede kvælstof føres derfor ned til grundvandet, før det løber videre til havet. Det tager derfor flere år, før eventuelle reduktioner i udvaskningen i dette område slår igennem som en mindre tilførsel til havet. I oplandet til Bælthavet og Øresund består undergrunden derimod hovedsageligt af ler. Det udvaskede kvælstof føres derfor hurtigere til vandløbene og videre til havet, og man vil hurtigere se et resultat af en eventuel reduktion i udvaskningen. Der er endvidere flere husdyr i Nord-, Midt- og Vestjylland, hvilket alt andet lige giver mere gylle i området.

Figur 5-5
Dansk landbrugs fosforoverskud fra 1900 til 2002 (se også figur 1-3).

Data fra A. Kyllingsbæk.



Boks 5-1

Historiske målinger i Storebælt

Danmark har flere hundrede års tradition for at undersøge havmiljøet og har været førende i verden, når det gælder forskning i havets biologi og økologi. Vi har bl.a. flere lange tidsserier med målinger i havet, som kan fortælle os, hvilken vej udviklingen er gået. Der blev eksempelvis hyppigt taget målinger fra de fyrskibe, som lå faste steder rundt omkring i de danske farvande, f.eks. fyrskibene Anholt Nord og Halsskov Rev.

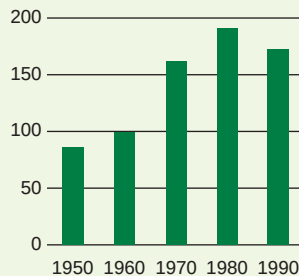
På fyrskibene lavede mandskabet bl.a. regelmæssige målinger af algenes produktion og lysets nedtrængning i vandet. Bundvandets indhold af ilt blev målt, når forskere kom forbi på togter. Figuren i denne boks viser udviklingen per ti-år af netop de tre størrelser i det centrale Storebælt siden 1950/60. Algenes produktion er opgivet som den gennemsnitlige årsproduktion. Lysets nedtrængning er et gennemsnit for månederne maj-august, og iltkoncentrationen er bundvandets indhold af ilt (fra 20 meter til bunden) i september måned.

Den lange tidsserie af data viser, at fytoplanktonets årsproduktion blev mere end fordoblet fra 1950'erne til 1980'erne for derefter at falde i 1990'erne. Parallelt med denne udvikling faldt sigtddybden og iltindholdet i bundvandet. I 1990'erne var sigtddybden lidt større, mens der endnu ikke kunne spores en ændring i bundvandets iltindhold.

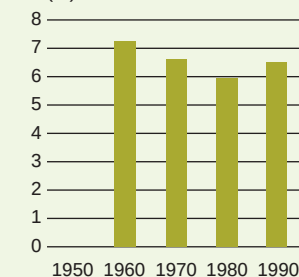
Algenes produktion i Storebælt er begrænset af mængden af tilgængeligt kvælstof. Udviklingen i algenes produktion, vandets klarhed og bundvandets iltindhold afspejler derfor udviklingen i tilførslerne af kvælstofnæringsstoffer fra land, atmosfæren og tilstødende farvande.

Algenes produktion er bestemt ved den såkaldte kulstof 14-metode, som blev udviklet af den danske professor E. Steemann-Nielsen til "Galathea"-ekspeditionen, der gik Jorden rundt i 1950-1951. Metoden bygger på, at man tilsætter radioaktivt kulstof, som algerne optager under deres fotosyntese, og allerede i begyndelsen af 1950'erne sørgede Steemann-Nielsen for, at der to gange om måneden blev foretaget målinger af algenes produktion på to danske fyrskibe. Det blev starten til verdens længste tidsserier af algeproduktion.

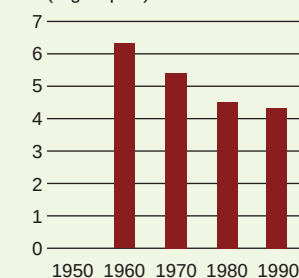
A Fytoplankton årsproduktion
(g kulstof pr. m² pr. år)



B Sigtdybde
(m)



C Iltkoncentration
(mg ilt pr. l)



Historiske målinger af algenes årsproduktion (A), sigtddybden i maj-august (B) og iltindholdet i september (C). Hver søjle viser gennemsnit af målinger foretaget i det pågældende tiår.



Man måler lysets nedtrængning i vandet eller sigtddybde ved at sænke en hvid skive, en såkaldt Secchi-skive, ned gennem vandet. Sigtddybden er den dybde, hvor skiven forsvinder ud af syne, og den kan bruges som et indirekte mål for miljøtilstanden i et havområde.

Foto: Ole Schou Hansen.



Fyrskib fra 1950'erne.

Foto: Farvandsvæsenet.

Helt tilbage i 1866 introducerede italieneren A. Secchi en metode til at måle, hvor langt solens lys trænger ned i vandet. Målingerne foretages ved, at man sænker en hvid skive på ca. 30 cm i diameter (Secchi-skive) ned i vandet, indtil den ikke mere kan ses fra overfladen. Dybden, hvor skiven forsvinder af syne, er et mål for, hvor dybt ca. 10 % af dagslyset når ned i vandet.

Det dobbelte af sigtddybden angiver dybden af den såkaldte fotiske zone, dvs. den del af vandsøjlen, hvor der fra marts til oktober i danske farvande er lys nok til, at algerne kan lave fotosyntese og producere organisk stof. Sigtddybden i de danske farvande er målt samtidig med målinger af algernes produktion. Desværre er sigtddybdemålingerne fra fyrskibene i 1950'erne gået tabt, og der er ikke systematiske målinger fra Storebælt før i 1960'erne.

Tyskeren L.W. Winkler fandt i 1888 en metode til at bestemme iltindholdet i vand. Hans metode er i dag stadig den standardmetode, der anvendes i hele verden. Der findes spredte iltmålinger fra danske farvande allerede fra 1902 og frem, dog afbrudt af de to verdenskrige, men først fra 1960'erne findes der mere systematiske målinger fra Storebælt.

Resultatet er, at Danmark endnu kun er nået ca. halvvejs i forhold til Nordsølandenes beslutning om at reducere udledningen af kvælstof til Nordsøen, Skagerrak og Kattegat med 50%.

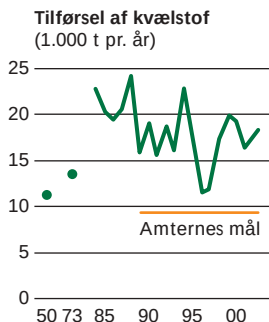
For fosfors vedkommende opfylder Danmark nu generelt reduktionskravet. Og Danmark opfylder også de krav, som Østersølandene har opstillet med hensyn til at reducere udledningen af næringsstoffer til vandmiljøet i Østersøområdet med 50%.

Også de afstrømningskorrigerede udledninger af næringsstoffer fra Sverige til Kattegat og Øresund er blevet mindre. Udledningen af kvælstof gennem svenske vandløb til Kattegat og Øresund er reduceret med henholdsvis ca. 10% og ca. 25% fra 1989 til 2002. Udledningen af kvælstof fra de direkte punktkilder (renseanlæg) til kystvandene er ca. halveret, mens udledningen af fosfor fra renseanlæg til Øresund er faldet kraftigt.

I Tyskland er udledningerne af kvælstof og fosfor til Østersøen fra kilderne i det samlede tyske opland reduceret med henholdsvis 10% og 15% fra 1995 til 2000. Reduktionerne i mængderne af næringsstoffer er først og fremmest et resultat af en mere effektiv spildevandsrensning, der blev påbegyndt i begyndelsen af 1990'erne.

Figur 5-6

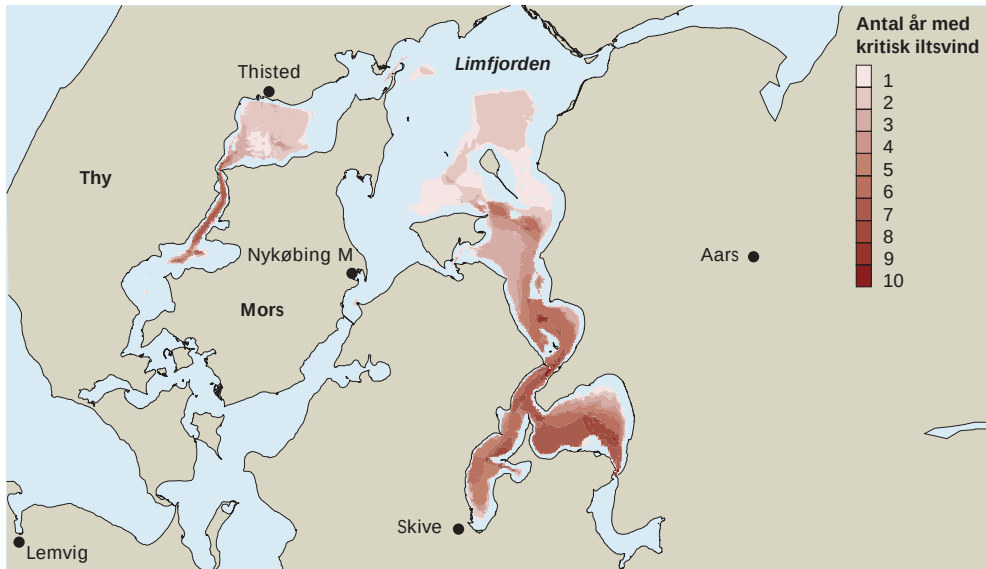
Tilførslen af kvælstof fra land til Limfjorden er stadig væsentligt større end de mål, der blev fastlagt i amternes recipientkvalitetsplaner fra 1985. Tilførslen i 1950 er skønnet, mens tilførslen i 1973 er beregnet. Tilførslen fra 1984 til 2002 er derimod målt.



Hvordan kommer man videre?

Indsatsen i Danmark, Sverige og Tyskland betyder altså, at der nu kommer relativt færre næringsstoffer til de indre farvande, end der ville være kommet, hvis der ikke var gjort en indsats. Men miljø- og naturkvaliteten i de danske farvande er ikke tilfredsstillende, og i mange tilfælde langt fra de mål, der er opstillet i amternes recipientkvalitetsplaner om et "ikke eller kun lidt påvirket havmiljø" (se også figur 7-3). Miljø- og naturkvaliteten lever altså ikke op til de politisk fastsatte mål (se eksempelvis figur 5-6).

Den større nedbørsmængde gennem de sidste fem år har i en vis udstrækning udvisket virkningen af vandmiljøplanernes reduktioner, så man ikke reelt kan måle en mindre tilførsel af kvælstof til de indre farvande. Pga. de større nedbørsmængder har man stadigvæk næsten de samme mængder kvælstof i de indre farvande. Og det er som nævnt tidligere mængden af kvælstof i vandet, der har betydning for produktionen af alger. Algerne reagerer ikke på, at de forskellige indgreb har virket, så længe de stadig får tilført stort set samme mængde næringsstoffer. Der er derfor ikke sket nogen tydelig reduktion i mængden af alger, og iltsvind forekommer stadigvæk hyppigt.

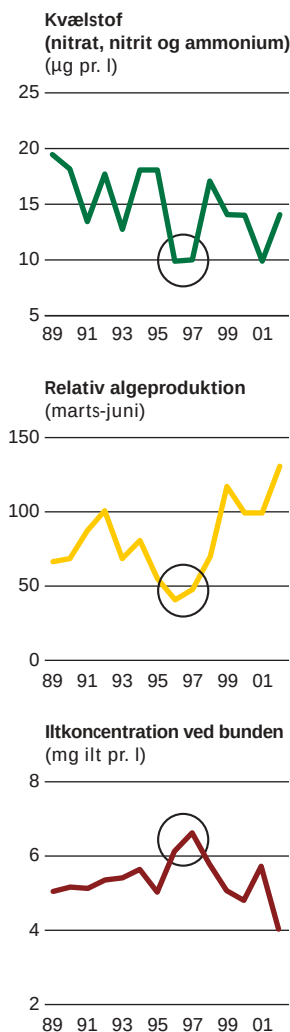
**Figur 5-7**

Antallet af år med kritiske iltsvind forskellige steder i Limfjorden inden for tiårsperioden 1994-2003. Den store tilførsel af næringsstoffer til Limfjorden betyder, at langt større områder end tidligere bliver ramt af iltsvind (se f.eks. kort over iltsvind i 1942 på figur 1-2). Kritisk iltsvind er her defineret som mere end 2 uger med iltmætning under 20 % og/eller 5 dage eller mere med under 10 % iltmætning.

Man har derfor kun ringe mulighed for at vurdere, i hvilken udstrækning virkningen af vandmiljøplanerne er i stand til at forbedre miljøet tilfredsstillende i kystvandene og havet på længere sigt. Men de to tørre år – 1996 og 1997 – giver os en idé om, hvordan udviklingen kan gå, hvis mængden af de næringsstoffer, der tilføres kystvandene, reelt bliver reduceret. Begge år var tilførslerne af næringsstoffer til de indre farvande lave på grund af de ringe mængder nedbør (figur 4-2). De mængder kvælstof og fosfor, der kom ud i de indre farvande i disse to tørre år, svarede faktisk til de mængder, som de internationale reduktionsmål på 50 % angiver for de samlede udledninger fra Danmark, Sverige og Tyskland.

Virkningerne i havmiljøet var tydelige de to år. Koncentrationerne af næringsstoffer i vandet var lavere, og mængden af planktonalger var derfor også lave (figur 5-8). Makroalger fik tilstrækkeligt med lys til at brede sig på dybere vand på stenrev i Kattegat, og endelig var iltsvindet ikke så omfattende som tidligere, hvilket bl.a. kom bunddyrene og fiskene til gode.

Der er ingen tvivl om, at vandmiljøplanerne vil forbedre havmiljøet, når indsatsen slår helt igennem. Det bekræfter naturens eget eksperiment i 1996 og 1997. Men en hel del tyder på, at vandmiljøplanerne ikke er tilstrækkelige til at opnå en tilfredsstillende miljø- og naturkvalitet – hverken generelt eller i de enkelte danske kystvande. Det viser bl.a. de



Figur 5-8

Udviklingen i vandets kvælstofindhold (nitrat, nitrit og ammonium), algeproduktion og iltindhold i de åbne, indre farvande. De lave tilførsler af næringsstoffer til det danske havmiljø i 1996 og 1997 kunne tydeligt aflæses i disse miljø-indikatorer.

hidtidige begrænsede forbedringer i kystvandene, det omfattende iltsvind i 2002, og især dét, at amternes målsætning om et kun lidt påvirket havmiljø er langt fra at være opfyldt.

Målene for miljø- og naturkvaliteten for de enkelte farvande finder man bl.a. i EU-direktiver og internationale aftaler. EU's Vandrammedirektiv kræver nemlig, at der opstilles mål for miljø- og naturkvaliteten i kystvandene, og at der udarbejdes bindende planer for den indsats, som skal til for at nå disse mål i de enkelte områder. Lige nu foregår der et omfattende arbejde med at nå til enighed om, hvordan disse mål opstilles og nås.

Dette arbejde følger to retninger. For det første skal målene for miljø- og naturforholdenes kvalitet i de danske farvande gøres konkrete. Der skal sættes tal på, hvordan kvaliteten skal være. Man kan eksempelvis tage stilling til, om der må forekomme iltsvind i et område, eller hvor tit det er acceptabelt, at iltsvind forekommer. For det andet skal det beregnes, om udledningerne af næringsstoffer skal nedsættes yderligere for at nå det fastsatte mål for det pågældende område og i givet fald, hvordan man skal sætte ind i de oplande, der leverer vand og næringsstoffer til det pågældende kystområde.

Modeller som hjælpeværktøjer

Man skal have en grundig indsigt i alle de forhold, der påvirker iltforholdene i havet, før man kan fortælle, hvilken indsats der er nødvendig for at opnå konkrete mål. Som det fremgår af de forrige kapitler, er meget af den viden allerede tilgængelig. Men ofte er det nødvendigt at samle alle oplysningerne i en model, der kan vise, hvordan en bestemt indsats påvirker iltforholdene, og hvad der skal til for at opnå nogle bestemte mål.

Endnu er der kun lavet få af sådanne modeller i Danmark. En af dem er lavet for Skive Fjord i slutningen af 1990'erne. Modellen viser, at der kun opstår iltsvind i Skive Fjord, når solen opvarmer overfladevandet og giver en lagdeling af vandsøjlen, der er så stærk, at vindens kraft ikke kan nedbryde den. Det sker hyppigt i varme somre. Modellen viser, at man kan halvere antallet af dage med kraftigt iltsvind ved at udlede 25% mindre kvælstof til fjorden (figur 5-9).

På tilsvarende måde har lokale miljømyndigheder sammen med forskere fra DMU undersøgt, hvor meget man skal nedsætte tilførslerne af næringsstoffer til Mariager Fjord for at få opfyldt målet om en god økologisk tilstand i fjorden. Man har studeret, hvordan sigtddyden ændrer sig i Mariager

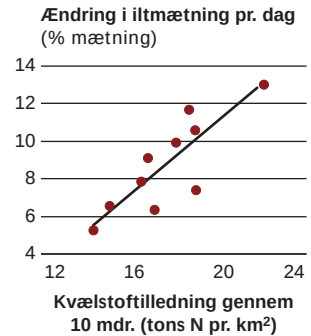
Fjord, hvis der kommer færre næringsstoffer. Modeller viser, at sigtddybden skal fordobles, hvis man skal undgå iltsvindshændelser i Mariager Fjord. For at opnå det, fortæller modellen, at man i et år med normal nedbør skal halvere tilførslen af kvælstof og reducere tilførslen af fosfor med ca. 25%. Modellen viser også, at man får en endnu bedre virkning på iltforholdene, hvis man begrænser tilførslerne af næringsstoffer til specielt den inderste del af fjorden gennem hele året, eller hvis man reducerer tilførslen af kvælstof til hele fjorden om sommeren.

Eksemplerne fra Skive Fjord og Mariager Fjord viser, at de enkelte farvande reagerer forskelligt på en bestemt reduktion i tilførslen af næringsstoffer. I Mariager Fjord viser modellerne endda, at der er lokale forskelle. Det understreger nødvendigheden af at vurdere hvert enkelt farvand, når man skal lave en plan for, hvordan man opnår en bestemt miljøtilstand i netop det farvand.

Der er også lavet modeller for de åbne indre farvande, der vurderer, hvordan næringsstofudledningerne fra land påvirker det økologiske system. Modellerne viser, at i Kattegat og Bælthavet vil en ændring på f.eks. 1% i udledningerne af kvælstof fra de omgivende landarealer medføre en tilsvarende ændring på ca. 1% i planktonalgernes produktion, mens virkningen på sigtddybden og mængden af alger (klorofyl) kun er på 0,3-0,8%. Nogen direkte vurdering af virkningen på iltsvind giver modellen dog ikke.

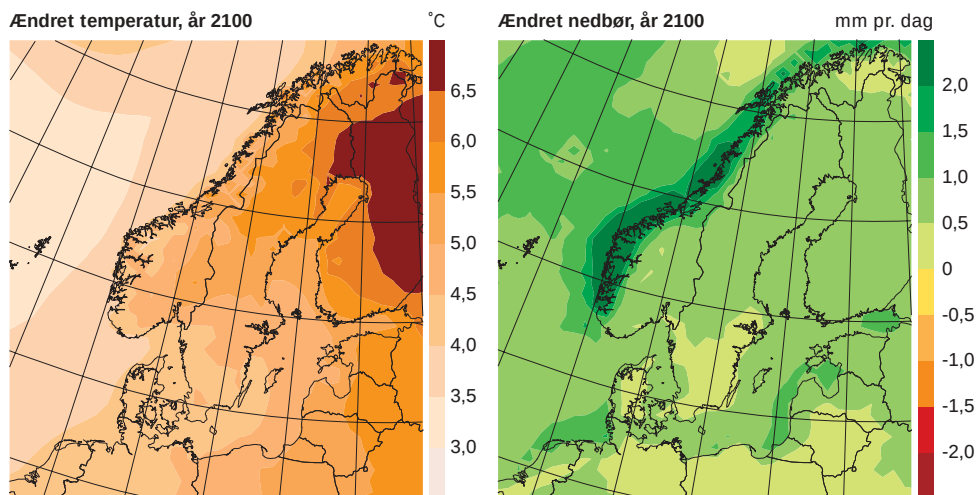
Resultaterne viser også, at det især er kvælstofudledningerne i perioden fra oktober året før og frem, der påvirker algeproduktionen i det efterfølgende sommerhalvår. Desuden viser modellerne, at klimaet, dvs. solindstråling, temperatur og vind, både i samme år og året før har en afgørende indflydelse på systemets tilstand.

I Chesapeake Bay (se side 14) på den amerikanske østkyst er det lykkedes at lave modelberegninger, der ret konkret fortæller, hvordan bugten reagerer, hvis mængden af næringsstoffer reduceres. Ønsker man at hæve iltindholdet i bundvandet om sommeren med 0,2-0,4 mg ilt pr. liter, skal man reducere tilførslen af kvælstof og fosfor med 20-30%. Det kræver endvidere en halvering af den mængde næringsstoffer, der i dag bliver tilført bugten, hvis man gennem hele sommeren skal have en iltmængde på mindst 1 mg pr. liter i bundvandet. Og vil man over 5 mg ilt pr. liter i bundvandet – og dermed totalt undgå iltsvind – må man reducere tilførslerne af næringsstoffer med 90% i forhold til de mængder, der i dag løber ud.



Figur 5-9

Under lagdeling i Skive Fjord falder iltmængden i bundvandet hurtigere, når der tilledes mere kvælstof.



Figur 5-10

Kortene viser, hvor meget vinterens temperatur og nedbør ifølge Danmarks Meteorologiske Institut kan ændre sig frem til år 2100, set i forhold til i dag.

Jokeren i spillet

Udvaskning af næringsstoffer og udbredelsen af iltsvind er som nævnt meget afhængig af vejr og klima. Derfor vil eventuelle ændringer i vores klima også få afgørende betydning for udbredelsen af iltsvind.

Vi ved ikke med sikkerhed, hvordan klimaet vil udvikle sig i vores del af verden. Det afhænger bl.a. af, i hvor høj grad det lykkes at få begrænset det globale udslip af drivhusgasser.

Danmarks Meteorologiske Institut har beregnet et realistisk scenario for fremtidens klima i Danmark. Forudsigelserne i dette scenarie viser, at man i forhold til i dag må forvente, at gennemsnitstemperaturen vil stige med op mod 4°C frem mod år 2100. Den gennemsnitlige nedbør stiger med ca. 10%, og der vil oftere forekomme perioder med kraftig nedbør – specielt om efteråret (figur 5-10). Til gengæld falder mængden af nedbør om sommeren sikkert lidt. Mere nedbør om vinteren vil øge udvaskningen af næringsstoffer fra landområderne og føre dem ud i havet. Og den større mængde nedbør vil endvidere gøre overfladevandet i Østersøen mere fersk. Det udstømmende Østersøvand vil gøre lagdelingen i de indre farvande endnu kraftigere og vanskeliggøre en opblanding af bundvandet. Alt sammen forhold, der øger risikoen for iltsvind.

Højere temperaturer får de biologiske processer til at løbe hurtigere. Det betyder, at næringsstoffer, der er bundet i organisk materiale, frigøres hurtigere. Produktionen af algeplankton vil – alt andet lige – blive større, og iltforbruget vil stige.

Den beregnede temperaturstigning vil samtidig give en længere vækstsæson i forårs månederne i Nordeuropa. Det vil øge mulighederne for landbrugsproduktion. For at udnytte den mulighed vil det samlede forbrug af gødningsstoffer højst sandsynligt stige, hvilket atter kan bidrage til en øget udvaskning fra land.

Der er altså tale om, at klimaændringer kan påvirke en række faktorer, der alle øger risikoen for mere omfattende iltsvind. Det er en alvorlig trussel, som man må inddrage, når man fremover vil opstille realistiske mål for miljøtilstanden – herunder udbredelsen af iltsvind – i de danske farvande. Hvis man på langt sigt vil fastholde en bestemt målsætning for miljø- og naturkvaliteten i vores farvande, betyder de forudsete ændringer i klimaet, at man må indføre endnu strammere restriktioner for at reducere udvaskningen af næringsstoffer.

Figur 5-11

Ændringer i klimaet betyder, at vi får mere nedbør. Det er til skade for havmiljøet, da mere nedbør bl.a. betyder, at flere næringsstoffer bliver vasket ud til havet.

Foto: Ole Schou Hansen.





Iltsvind og samfunds- økonomi

Samfundet bruger hvert år store summer på at reducere tilførslen af næringsstoffer til vandmiljøet, så bl.a. omfanget af iltsvind mindskes. Omvendt nyder både befolkningen og visse erhverv godt af investeringerne. Spørgsmålet er, om man kan opgøre både udgifter og fordele i pengeværdi og derved skabe et grundlag for at vurdere, om indsatsen giver en samfundsøkonomisk nettogevinst.

Foto: Ole Schou Hansen.

**Figur 6-1**

Fisk flygter, dør eller mister deres føde, når et kraftigt iltsvind slår bunddyrene ud i et havområde. På den måde kan iltsvind blive en direkte økonomisk omkostning for fiskerierhvervet.

Foto: Britta Munter.

Færre fisk, skader på havbrug, færre arbejdspladser i fiskerierhvervet og færre turister. Det er blot nogle få eksempler på de skader, som iltsvind kan forvolde, og som koster samfundet penge. Ringere livsbetingelser for fisk, bunddyr, ålegræs og fugle – og dermed et fattigere liv for os mennesker – er andre eksempler, men her er samfundets tab sværere at gøre op i pengeværdi.

Siden midten af 1980'erne har der som nævnt i kapitel 5 været gennemført flere nationale handlingsplaner. Handlingsplanerne har været og er fortsat dyre for både landmænd og industri, men også for den enkelte borger i kraft af større offentlige udgifter til f.eks. spildevandsrensning.

Vores samfund råder ikke over ubegrænsede midler, og planerne kan blive så dyre at gennemføre, at man må spørge, om det er den rigtige måde at bruge pengene på. For at svare på dét spørgsmål, kan man sammenligne omkostningerne ved planerne med værdien af de gevinster, der er ved planerne – bl.a. at iltsvindene mindskes. Nogle af gevinsterne kan man finde en egentlig pris på, fordi de knytter sig til et erhverv (at undgå tabt fiskeri, nedgang i turisme osv.). Andre gevinster, nemlig dem befolkningen som sådan får ved, at natur og miljø ikke forringes, kan det være svært at finde en pengeværdi for, da disse goder jo normalt ikke har en pris.

Samfundets udgifter til at beskytte vandmiljøet

I midten af 1980'erne kom først NPo-handlingsplanen, der ikke er nærmere omtalt her i bogen. Den blev efterfulgt af Vandmiljøplan I, Handlingsplan for en bæredygtig udvikling i landbruget, Vandmiljøplan II og endelig i 2004 Vandmiljøplan III.

Planerne går alle ud på at begrænse tilførslen af fosfor og kvælstof til både grundvand, vandløb, søer, fjorde og åbne farvande. Det er imidlertid ikke kun iltsvindsproblemerne, der skal mindskes – planerne har f.eks. også til formål at sikre rent drikkevand. Det er ikke muligt at opgøre omkostningerne ved reduceret risiko for iltsvind isoleret fra de øvrige formål. Prisen er et udtryk for, hvad samfundet har betalt for at forbedre hele vandmiljøet og herunder at mindske risikoen for iltsvind. Finansministeriet og Fødevareøkonomisk Institut har beregnet de forventede årlige omkostninger ved Vandmiljøplan I, Handlingsplan for en bæredygtig udvikling i landbruget og Vandmiljøplan II. Tallene fremgår af tabel 6-1.

Landbrugets omkostninger til at opfylde planerne på ca. 1,8 mia. om året er bl.a. gået til at opfylde kravet om at nedsætte

Tabel 6-1

Årlige forventede omkostninger ved forskellige handlingsplaner, beregnet af Finansministeriet og Fødevareøkonomisk Institut. Sammenstillingen er baseret på de senest offentliggjorte tal fra udgangen af 2003. Både landbruget, industrien og samfundet som sådan har været med til at betale regningen. Samlet kan man se, at der er brugt betydelige ressourcer på at forbedre vandmiljøet.

Plan	Årlige omkostninger i mio kroner som skønnet gennemsnit			
	Landbrug	Industri	Offentlige udgifter	I alt
Vandmiljøplan I	558	429	1.633	2.620
Handlingsplan for en bæredygtig udvikling i landbruget	1.001	-	-	1.001
Vandmiljøplan II	213	-	174	387
I alt	1.772	429	1.807	4.008
Procent	44	11	45	100

forbruget af kvælstofgødning til 10% under det økonomisk optimale. Der er også krav til bedre udnyttelse af husdyrgødning og til, hvor mange dyr der må være pr. hektar, de såkaldte harmonikrav. Ifølge sidstnævnte krav skal der være harmoni mellem landmandens jordareal og antallet af dyr. Endvidere er der krav om, at 65% af markerne skal være dækket af afgrøder om vinteren. Kravet om nedsat gødningsforbrug har været det dyreste for landbruget efterfulgt af kravene om efterafgrøder og bedre udnyttelse af husdyrgødningen.

Industri og kommuner har haft udgifter til investering i og drift af renseanlæg. Industriens omkostninger på ca. 430 mio. kr. om året kommer alene af Vandmiljøplan I, mens de offentlige udgifter, som er omtrent af samme størrelse som landbrugets omkostninger, nemlig ca. 1,8 mia. kr. om året, er en følge af såvel Vandmiljøplan I som - II. Statens udgifter i forbindelse med Vandmiljøplan II omfatter bl.a. de såkaldte arealtiltag, hvor der dels gives tilskud til at genoprette vådområder og dels til at drive et mindre intensivt og mere miljøvenligt landbrug i de såkaldte "Særligt Følsomme Landområder". Desuden er der udgifter til skovrejsning og økologisk jordbrug. Endelig har staten haft udgifter til administration af reglerne og til forskning. Sidstnævnte omkostninger er dog ikke med i skønnet i tabel 6-1.

Hvert enkelt af indsatsområderne har mange virkninger. Eksempelvis har økologisk jordbrug langt flere virkninger på miljøet end blot det at reducere tabene af næringsstoffer. F.eks. bliver der ikke brugt pesticider i økologisk jordbrug, hvilket bl.a. kan have en positiv virkning på drikkevandets kvalitet.

Figur 6-2

Der er krav om, at 65% af markerne skal være dækket af afgrøder om vinteren.

Foto: Ole Schou Hansen.



Figur 6-3

Ved en pantafgift betaler landmanden en afgift for det kvælstof, der er i indkøbt foder og gødning, og for det kvælstof, som kvælstoffikserende afgrøder binder. Til gengæld kan landmanden modregne det kvælstof, der er bundet i afgrøder, kød eller mælk, som han producerer og sælger.

Foto: Irene Paulsen.



Omkostningerne til at støtte økologisk jordbrug bør således fordeles på alle de miljømål, som økologisk jordbrug er med til at opfylde.

Kunne man have fået mere for pengene?

Vandmiljøplanerne har været baseret på generelle regler og krav om, hvad man må og ikke må. Den høje pris på planerne gør det værd at overveje, om der er billigere måder at opnå de samme forbedringer på. I forhold til landbruget har man bl.a. rettet blikket mod økonomiske virkemidler som f.eks. afgift på handelsgødning. Økonomiske virkemidler giver landmændene en mulighed for selv at vælge, hvordan de vil tilpasse sig – om de vil betale afgiften eller ændre produktionen.

Denne fremgangsmåde rummer imidlertid det problem, at der ikke altid er overensstemmelse mellem forbruget af gødning og virkningen på miljøet. F.eks. har flere undersøgelser vist, at en ensidig afgift på handelsgødning ikke nødvendigvis virker efter hensigten. Ganske vist bliver der brugt mindre handelsgødning, men samtidig vil landmændene sandsynligvis dyrke flere kvælstofsamlende planter, f.eks. ærter, for at spare det dyre kvælstof, og dermed kommer der mere kvælstof ud i vandområderne.

Man kan undgå de fleste af den slags uønskede virkninger ved i stedet at lægge afgifter på det kvælstof, der tabes i produktionen – en såkaldt pantafgift. Afgiften lægges på det kvælstof, der er i foder, gødning og kvælstofsamlende afgrøder. Landmanden får bagefter en del af afgiften tilbage alt efter, hvor meget kvælstof der er i kød, mælk og de forskellige afgrøder, der produceres. Ideen er at udnytte en række kontrollerbare varestrømme og dermed rette afgiften direkte mod selve

problemet: det kvælstof, der går tabt til miljøet. Systemet sigter mod at få landmanden til at holde hus med næringsstofferne, dvs. at bruge dem så effektivt som muligt i produktionen.

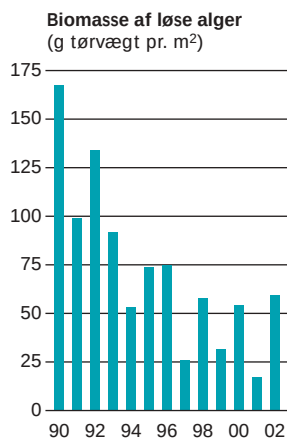
Ved at ændre den generelle regulering til en pantafgift kan man afskaffe de nuværende regler om f.eks. kvælstofnormer, harmonikrav og efterafgrøder. I stedet indfører man en pantafgift, hvor afgiftens størrelse tilpasses, så man når de miljømål, der er sat.

Mange undersøgelser tyder på, at det nuværende system, der direkte opstiller regler for forbruget af kvælstof, er dyrere end økonomiske virkemidler. Omkostningsfordelene ved de økonomiske virkemidler kommer, fordi den enkelte landmand kan tage hensyn til omkostningsforholdene på sin egen bedrift – altså opføre sig, så han eller hun slipper billigst muligt i afgift.

Undersøgelser har vist, at omlægning af den generelle kvælstofregulering til en pantafgift kan give en samfundsøkonomisk gevinst i størrelsesordenen 0,5-1 mia. kr. om året. Samfundet kan altså spare penge ved at udnytte økonomiske virkemidler og på den måde skabe et samfundsøkonomisk råderum til miljøforbedringer og til at lette byrden for landbrugserhvervet.

Et andet problem med den generelle regulering er, at den ikke er egnet til at sikre opfyldelse af særlige målsætninger for sårbare lokalområder, hvad enten det er vandområder (sårbare vandløb, søer og kystområder), drikkevandsmagasiner eller sårbare naturområder. I stedet kunne man bruge en lokal regulering i form af regler, kontrakter eller aftaler. Det er vigtigt at være omhyggelig med udformningen af lokal regulering. Dels skal det være muligt at kontrollere, at de krav, man stiller, bliver opfyldt, og dels skal man sikre, at der ikke opstår tilskyndelser til, at landmændene handler på en utilsigtet måde.

Som et eksempel på sidstnævnte kunne man forestille sig en regel, der skal reducere gødningstilførslen i et særligt følsomt område ved at uddele færre gødningskvoter til det pågældende område. Jo mindre gødning man bruger, jo større virkning vil man imidlertid få af selv en lille forøgelse af mængden. Så en landmand, der er udsat for lokal regulering og derfor har relativt få kvoter, vil kunne tjene relativt meget ved at øge gødskningen med f.eks. et kilo kvælstof. Et system med differentierede gødningskvoter vil derfor tilskynde landmænd i det sårbare område til at købe gødning af landmænd uden for det regulerede område, og de vil være villige til at betale en god pris for gødningen – mere end hvad de sælgende landmænd kan tjene på selv at bruge gødningen.

**Figur 6-4**

Fedtemøg (brunalger) langs strandene i Køge Bugt plager badegæsterne. Reduktioner i udledninger af næringsstoffer til bugten har reduceret mængden af fedtemøg, gjort vandet klarere og øget områdets rekreative værdi. Denne rekreative værdi kan i princippet beregnes ved at undersøge, hvor langt badegæsterne har rejst, og hvor meget de har betalt for at komme til stranden.

Foto: Ole Schou Hansen.



Så selv om alle formelt overholder deres kvoter, bliver der en tilskyndelse til "grænsehandel" mellem generelt regulerede områder og områder med lokal regulering. Dette betyder, at man alt i alt får et mindre forbrug af gødning, men den virkning, man havde forudsagt og måske baseret et tilskud på, bliver mindre end planlagt.

I stedet må regler og aftaler for særligt sårbare områder udformes, så reglerne er mulige at kontrollere, f.eks. ved at stille krav eller give tilskud til etablering af vådområder, skove, omlægning til ekstensiv drift (f.eks. græs) eller reduceret husdyrproduktion. Beregningerne til forberedelse af Vandmiljøplan III viste, at etablering af vådområder er forholdsvis billig sammenlignet med f.eks. reduceret husdyrproduktion. Lokale forhold spiller imidlertid ind og har betydning for både omkostninger og miljøeffekter.

Befolkningens gevinst ved færre iltsvind

For at kunne sammenligne omkostningerne ved at gøre noget ved iltsvind med befolkningens fordele heraf, kan man opgøre fordelene i en pengeværdi. Det kan være svært, men der findes metoder, der i mange tilfælde kan hjælpe på vej. Prissætning er ikke nogen nem øvelse, men der er mange eksempler, især i udlandet, på at man har anvendt metoden.

Befolkningen kan for det første have en konkret brugsværdi af færre iltsvind: Lystfiskerne nyder f.eks. godt af, at der er mange fisk, og de badende, sejlere og spadserende kan nyde en ren fjord. Ud over brugsværdi har mange f.eks. glæde af at vide, at der findes et rigt dyre- og planteliv omkring dem, selv om de ikke nødvendigvis aktivt benytter områderne og

ser dyrene og planterne. Desuden er der for de fleste en værdi forbundet med at kunne overdrage et sundt miljø til kommende generationer. Disse mere diffuse værdier kaldes ofte "eksistensværdier" og "testamentariske værdier" eller med en samlet betegnelse "ikke-brugsværdier".

Uanset typen af værdi er man nødt til at bruge såkaldte værdisætningsmetoder til at sætte en pris på dem, da miljøgoder jo normalt ikke har en pris. Nogle af disse metoder tager udgangspunkt i de udgifter, som folk har vist sig parate til at afholde – f.eks. i form af højere huspriser for en bestemt herlighedsværdi eller i form af rejseudgifter for at besøge en bestemt lokalitet. Man skal dog være opmærksom på, at disse metoder kun måler den brugsværdi, godet har for en del af befolkningen.

Andre metoder går ud på at spørge folk, hvor meget de er villige til at betale for at få et bedre miljø eller i andre situationer undgå, at miljøet bliver forringet. Med disse metoder måles både brugsværdi og ikke-brugsværdi, og værdierne kan måles for hele befolkningen.

Betalingsvilje målt via huspriser og rejseudgifter

Ved en analyse af huspriserne kan man i praksis sammenligne priser på huse, der er blevet solgt før og efter iltsvind, eller før og efter at udledninger fra husholdninger eller landbrug til et bestemt område er ændret. Man kan også sammenligne prisen på huse, der ligger ved kyster med forskellig miljøkvalitet. Ved at tage højde for den generelle udvikling i huspriserne, specielle kendetegn ved husene i områderne og områdernes egenart kan man beregne de økonomiske virkninger af miljøtilstanden.

I Danmark er husprismetoden blevet brugt til at undersøge værdien af at bo ved skove eller søer og af de gener, husejere oplever ved at bo i nærheden af svinefarme eller motorveje. I USA er den bl.a. blevet brugt til at beregne værdien af forbedret vandkvalitet.

Det amerikanske eksempel stammer fra den store bugt Chesapeake Bay på den amerikanske østkyst (se side 14), hvor husejerne helt kontant satte pris på renere vand. Når antallet af colibakterier i bugten faldt med 100 enheder pr. 100 ml, steg ejendomspriserne nemlig med 1,5%, og ved en stigning i antallet af colibakterier sås et tilsvarende fald i priserne. På samme måde kan man forestille sig, at priserne på huse i nærheden af fjorde som Limfjorden eller Vejle Fjord påvirkes, hvis antallet eller styrken af iltsvind ændrer sig.



Figur 6-5
Iltsvind kan påvirke huskøberes lyst til at købe huse i et bestemt område. Det påvirker huspriserne, som derfor kan bruges til at beregne den indirekte pris på miljøkvaliteten.

Foto: Ole Schou Hansen.

En anden mulighed for at vurdere betalingsviljen er at undersøge, hvor meget folk er villige til at betale for at komme til et rekreativt område. Man beregner her et områdes rekreative værdi ved at opføre, hvor store transportomkostninger publikum har haft i forbindelse med et besøg. Rejseomkostningerne er altså ligesom huspriserne faktiske beløb, som folk har været villige til at betale for at bruge et miljøgode.

I Stockholms skærgård har man brugt metoden til at vurdere den økonomiske fordel ved at reducere mængden af kvælstof med 30% for at få et bedre havmiljø. Mere præcist har man regnet med en reduktion, der giver én meter større sigtddybde. Undersøgelsen viser, at indgrebet har en værdi på 192-351 mio. svenske kroner pr. år. Da undersøgelsen samtidig viser, at det højst koster 120-200 mio. svenske kroner pr. år at nedsætte mængden af kvælstof, så sigtddybden stiger med én meter, er der ret stor sandsynlighed for, at samfundet får en økonomisk gevinst ved reduktionen.

Men – ved disse beregninger skal man selvfølgelig undersøge, om der også er andre grunde til, at folk er rejst til området, og forsøge at tage højde for dem, før man beregner områdets værdi. Det viser sig, at en stor del af svenskerne i undersøgelsen i virkeligheden ikke har taget turen til skærgården på grund af naturværdierne, men derimod fordi de skulle med forskellige færger i området. Når man tager det med i beregningen, falder den kontante værdi af det bedre havmiljø til 59-110 mio. svenske kroner pr. år.

Umiddelbart kunne det da se ud til, at indgrebet ikke kan betale sig, men da rejseomkostningsmetoden ikke medregner befolkningens ikke-brugsværdier, vil der være et behov for supplerende oplysninger, før der kan træffes en afgørelse om planen. Havde der derimod været et overskud, ville man med ret stor sikkerhed kunne sige, at der ville være en samfundsøkonomisk nettogevinst ved at gennemføre planen.

Betalingsvilje målt via interviews

Man kan også få en vurdering af et miljøgodes værdi ved at spørge et repræsentativt udsnit af befolkningen, hvor meget de (hypotetisk) er villige til at betale for at få det pågældende miljøgode. Fordelen ved denne metode er, at man både måler brugsværdi og ikke-brugsværdi, og at man kan spørge et repræsentativt udsnit af befolkningen i hele landet eller det pågældende område. I et forsimplet eksempel kunne et konkret spørgsmål lyde: ”Er du villig til at betale 1.000 kroner i ekstra skat pr. år for at undgå iltsvind i Limfjorden, hvis det

samtidig forøger fiskeriet med 50 %, giver bedre badeforhold, færre lugtgener osv.?”

I en nordisk undersøgelse har man brugt denne metode til at opgøre værdien af fritidsfiskeri. Både den værdi, fiskerne forbinder med fangsten, og den, som er knyttet til selve oplevelsen. Undersøgelsen viser, at danskere prissætter værdien af at kunne fiske i kystnære farvande ca. fire gange højere end de omkostninger, der reelt er forbundet med at opretholde fiskeriet (fiskegrej, fiskekort, transportudgifter etc.). Konklusionen er derfor, at der er store samfundsmæssige værdier forbundet med at sikre fritidsfiskere gode fiskemuligheder i havet.

En stor interviewundersøgelse fra Sverige viser, at svenskerne er villige til at betale mellem 11,5 og 20,7 mia. svenske kroner om året for i løbet af 20 år at få halveret forureningen af Østersøen med fosfor og kvælstof. Sammenlignet med de faktiske omkostninger ved sådan et indgreb på ca. 5,3 mia. svenske kroner om året giver undersøgelsen et fingerpeg om, at svenskerne er villige til at betale for planen.

Undersøgelsen viser også, at svenskerne er villige til at betale i gennemsnit fra 3.300 til 5.900 kroner pr. person pr. år for en handlingsplan, der vil reducere forureningen med næringsstoffer til et niveau, Østersøen kan bære. En del af de interviewede var endda villige til at betale op til 25.000 kr. pr. år i 20 år. Altså en meget høj prissætning af et godt miljø i Østersøen.



Figur 6-6

Svenskerne er villige til at betale et større beløb for at få en ren Østersø.

Foto: Ole Schou Hansen.

Man ved ikke meget om værdien af danske vandmiljøområder

Bortset fra den nordiske undersøgelse om fiskeri ved man i Danmark desværre endnu intet om den samfundsøkonomiske værdi af at have et godt vandmiljø. Der er ganske enkelt ikke lavet undersøgelser endnu, der værdisætter goderne ved de danske vandmiljøområder.

Og det er desværre ikke enkelt at overføre udenlandske resultater til danske forhold, da forudsætningerne kan være meget forskellige. Et specifikt problem er, at netop skadevirkningerne af kvælstof og fosfor afhænger af en række forskellige forhold i det enkelte vandområde. Derudover kan befolkningens ønsker til kvaliteten af vandmiljøet variere meget fra land til land.

Skal man have økonomiske analyser af et forbedret vandmiljøes fordele for det danske samfund, må man derfor udføre grundige analyser, der undersøger den værdi, danskerne tillægger vandområdernes miljøkvalitet.

Usikkerheder og begrænsninger

Opgørelse af huspriser og afholdte rejseudgifter fortæller som sagt ikke hele sandheden om miljøgodernes værdi. Man finder med disse metoder kun den brugsværdi, områderne har for husejerne og de tilrejsende. Måske tillægger de miljøgodet endnu større værdi f.eks. testamentarisk værdi og eksistensværdi. Disse værdier bliver ikke medtaget. Metoderne medtager heller ikke værdien for ikke-brugerne blandt resten af befolkningen. Derfor kan resultaterne betragtes som en slags nedre skøn.

Heller ikke interviewundersøgelser af folks betalingsvillighed kan med sikkerhed afsløre værdien af et miljøgode, selv om metoden medtager både brugsværdi og ikke-brugsværdi. For det første findes der nogle etiske grænser for, hvad man på den måde kan prissætte. Der findes miljø- og naturværdier, hvor mange mennesker afviser at sætte en pengeværdi på en forbedring eller forringelse. Nogle problemer er så komplicerede eller ukendte, at det ikke giver mening for folk at tilkendegive en betalingsvillighed. For det andet kan man ikke være sikker på, at folk nu også vil betale det "lovede beløb", hvis de i virkeligheden blev bedt om at betale.

Der er altså en række usikkerheder forbundet med at opgøre miljøets og naturens værdi i pengeværdier. Det er vigtigt at beskrive disse usikkerheder og at undersøge, hvor meget resultatet ændres, når man tager dem i betragtning og f.eks. være opmærksom på, at nogle af metoderne kun giver et nedre skøn for naturens værdi.

Vurdering af miljøplaners gevinster og omkostninger i fremtiden

Beregning af miljøets og naturens værdi har til formål at styrke grundlaget for de politiske beslutninger om, hvordan man bruger samfundets ressourcer. Det er værd at huske, at pris-sætning udføres for på den ene side at sikre, at miljøplaner med store fordele gennemføres, og på den anden side at sikre, at man ikke bruger mange penge på noget, som folk alligevel ikke synes har en samfundsmæssig værdi. Indtil nu har det ikke været muligt at tage vandmiljøplanernes fordele for samfundet ind i de økonomiske analyser af planerne, sådan som man har gjort for tilsvarende miljøplaner i Sverige. Man ved derfor ikke, om omkostningerne ved f.eks. Vandmiljøplan III opvejes eller måske endda overstiges af goderne for samfundet.

Det største hul i vores viden omkring samfundsøkonomi og iltsvind, men også mange andre miljøproblemstillinger, er viden om den værdi, befolkningen tillægger de goder, som miljøhandlingsplanerne giver. Der er derfor behov for grundlæggende analyser af den værdi, den danske befolkning tillægger miljøkvaliteten i de danske vandområder. Sammen med en opdateret viden om reguleringsmuligheder og de omkostninger og miljømæssige virkninger, som de medfører, vil denne viden give et solidt grundlag for prioriteringer af miljøindsatsen.

Figur 6-7

Et rent havmiljø er til glæde for alle.

Foto: Ole Schou Hansen.



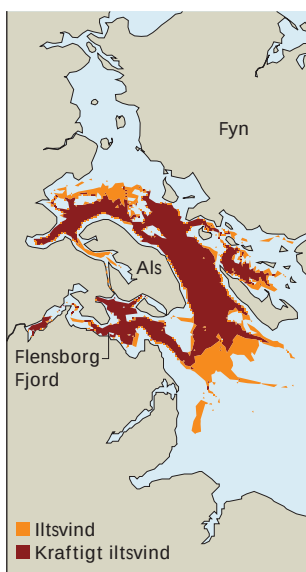




Målrettet indsats nødvendig

Det er klart, at de gentagne iltsvind i de danske farvande forringer livet i havet og ødelægger store naturværdier. Der skal færre næringsstoffer ud i vore fjorde, kystvande og hav, hvis man skal dæmme op for iltsvind. Vandmiljøplanerne er et rigtigt skridt på vejen. Men hvis man skal nå miljømålene og begrænse omfanget af iltsvind i danske farvande, er en yderligere og målrettet indsats nødvendig. I den indsats er det vigtigt at tage udgangspunkt i hvert enkelt områdes særlige behov.

Foto: Peter Bondo Christensen.

**Figur 7-1**

Alt ånder fred og ro på Flensborg Fjord denne lune søndag formiddag i midten af september 2003, hvor fuglene hviler eller søger føde, og kapsejlerne dyster i en let vind. Der er ikke det mindste tegn på det iltsvind, der hærger store dele af havbunden under overfladen. Men sandheden er, at store områder i den dybeste del af fjorden, er ramt af kraftigt iltsvind.

Foto: Ole Schou Hansen.

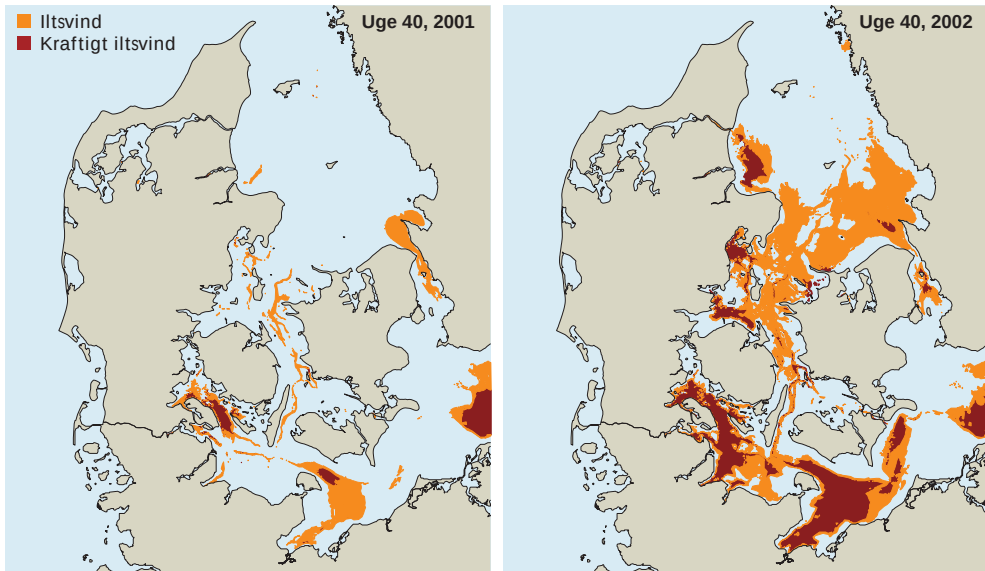


Man ved i dag, at det var iltsvind og ikke et giftudslip, der dræbte fiskene ud for Djurslands kyst tilbage i 1981. Man ved, at øgede mængder kvælstof udledt til de danske fjorde og kystvande har øget antallet af iltsvind. Og man ved, at der stadig er for mange næringsstoffer i de danske farvande til at undgå udbredte iltsvind under de forhold, som vejr og havstrømme betinger.

Det kan være svært at tydeliggøre, hvad iltsvind egentlig er, og hvad iltsvind betyder for havmiljøet nu og på længere sigt. Samtidig er det de færreste danskere, der overhovedet har nogen berøring med problemet i dagligdagen. Og den ødelæggende virkning, som iltsvind har på havmiljøet, ligger godt skjult under havets overflade (figur 7-1).

Da det voldsomme iltsvind i 2002 ramte et område, der omtrent svarer til Sjællands areal, var det i sig selv en alarmende melding, der var til at forstå (figur 7-2). Men de fleste har alligevel ingen mulighed for at danne sig et indtryk af de reelle ødelæggelser og den langvarige betydning af det omfattende iltsvind. Var planter og dyr blevet slået omkuld på et tilsvarende areal på landjorden, ville de fleste sikkert med det samme tænke, at det var nødvendigt at gøre noget effektivt ved problemet her og nu.

Forskere og miljøfolk har derfor fortsat en stor opgave med at synliggøre og forklare, hvad iltsvind er, hvordan og hvornår det opstår, og hvilke skader det påfører vores havmiljø.



Konstruktiv debat ønsket

Mange års erfaring viser, at iltsvind er et meget følsomt emne at diskutere offentligt i Danmark. Der rejser sig ofte en meget følelsesladet debat i medierne, når man oplever iltsvind herhjemme. Debatten mellem forskellige faggrupper, der fulgte iltsvindet i 2002, var ingen undtagelse. Den blev både hård og subjektiv, og som det ofte sker med sådanne debatter, kørte den hurtigt af sporet rent fagligt. Resultatet er, at diskussionerne hurtigt drejer sig om holdninger og troværdighed hos forskellige fag- og erhvervsgrupper i stedet for at blive en konstruktiv diskussion om iltsvind og dets betydning for havmiljøet.

Det er nødvendigt og på høje tid, at man sadler om og får gang i en målrettet og konstruktiv debat om, hvordan man reducerer mængden af iltsvind i danske farvande. Det er nødvendigt, at diskussionen tager udgangspunkt i de enkelte fjorde, kyst- eller havområder. Man må diskutere spørgsmål som: Hvilken tilstand ønsker vi, det pågældende område skal have? Hvad skal der til for at bringe netop dette område i den ønskede tilstand? Hvad vil de nødvendige indgreb koste, og hvem skal holde for, når regningen skal betales?

Som beskrevet i de tidligere kapitler giver kvælstof fra Danmark forskellig virkning i de forskellige danske fjord-, kyst- og havområder. Mens Danmark bidrager med ca. 30% af den samlede mængde af aktivt kvælstof i Bælthavet og Kat-

Figur 7-2

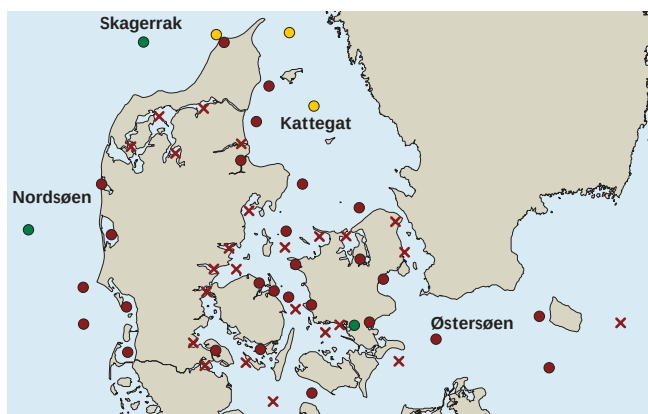
Det iltsvind, der ramte de danske farvande i 2002, var markant større end eksempelvis det i 2001, som var et gennemsnitsår (se også figur 4-14).

Figur 7-3

Status over, hvilke farvande der i 2002 opfyldte kvalitetsmålsætningerne.

Opfyldelse af miljømålsætninger

- Målsætningerne er opfyldt
- Målsætning tæt på at være opfyldt
- Målsætninger ikke opfyldt
- × Områder hvor forekomst af iltsvind er medvirkende årsag til at målsætninger ikke er opfyldt



tegat, er de danske kilder stort set ene om at påvirke mange danske fjorde. Problemer med for meget kvælstof i eksempelvis Limfjorden og Odense Fjord kan vi kun takke os selv for. Her kommer så godt som alt kvælstof nemlig fra danske landområder.

Når virkningerne af Vandmiljøplan II engang slår igennem, viser de nyeste modelberegninger, at Danmark når op på at reducere udvaskningen af kvælstof fra markerne med ca. 48% målt i forhold til udvaskningen i midten af firserne. Det er stort set det mål, man satte med Vandmiljøplan I. Men der kan gå flere år, fra landbruget ændrer praksis, til det er muligt at måle den fulde virkning i vandmiljøet. Der er også store forskelle på, hvor godt vandmiljøplanerne har virket i forskellige dele af landet. Det skyldes dels, at der er store forskelle i jordbundsforhold (sand eller ler) og i landbrugspraksis (dyreproduktion eller planteproduktion).

Modelberegningerne udtrykker resultatet på landsplan. Og det samlede resultat rækker ikke ved, at der i nogle områder udledes mere kvælstof end det mål, man satte med vandmiljøplanen, mens der i andre områder udledes mindre. Og det rækker desværre heller ikke ved, at der stadig er for meget kvælstof i mange af vore farvande til, at vi opnår en god miljøtilstand uden mange iltsvind. Faktisk er målsætningerne stort set ikke opfyldte i de indre farvande (figur 7-3). Og det billede har ikke ændret sig fra 1989 til 2002, hvor der har været gennemført en systematisk, landsdækkende overvågning. I de dele af de åbne farvande, hvor målsætningerne er opfyldt, er der i alle tilfælde tale om farvande, der ikke har nogen direkte tilførsel af næringsstoffer fra vandløb eller punktkilder (figur 7-3).

**Figur 7-4**

Satellitbillede af Limfjordsområdet. En forskellig indsats i landbrugspraksis kan være nødvendig for at løse problemerne i de forskellige fjorde, bredninger og vige i danske kyst- og havområder.

Foto: Landsat 7 ETM satellitten, optaget den 9. maj 2001.

For fjordene skal der stadig ske en meget betydelig reduktion i tilførslen af kvælstof fra oplandet, før man vil se en markant reduktion i kvælstofmængderne, og før amternes mål for mængderne af kvælstof i fjordene er nået (se eksempelvis figur 5-6).

Differentieret indsats

Vandmiljøplanernes landsdækkende indsats har altså ført os et godt stykke den rigtige vej, men hvordan kommer man videre, og hvordan sikrer man et godt havmiljø i Danmark? Et af svarene er, at nye landsdækkende indgreb kan være en meget uhensigtsmæssig måde at anvende ressourcerne på.

Problemerne i Limfjorden og Odense Fjord må løses lokalt. Det er nødvendigt at definere, hvilken tilstand man ønsker i de to områder. Når denne målsætning er på plads, må man analysere, hvad man kan gøre i hele det landområde, der leder næringsstoffer til det enkelte fjordsystem. De mange næringsstoffer i Limfjorden og Odense Fjord stammer f.eks. primært fra landbruget, mens der for mere åbne områder også vil komme næringsstoffer fra renseanlæg og fra havstrømme og andre kilder. En fremgangsmåde, der løser problemerne i Limfjorden og Odense Fjord, kan derfor være meget forskellig fra dem, der er nødvendige for at forbedre tilstanden i eksempelvis Århus Bugt eller Horsens Fjord. Og selv en løsningsmodel for Limfjorden kan være meget forskellig fra en, der løser problemerne i Odense Fjord, da forhold som landbrugsstruktur, jordbundsforhold, nedbør og afstrømning varierer fra opland til opland.

Samtidig er det vigtigt at være opmærksom på, at problemerne i de åbne farvande, herunder specielt Bælthavet og

Kattegat, kun løses gennem et fortsat intensivt internationalt samarbejde med de lande, der ligger omkring Danmark. De fleste lande har allerede tilsluttet sig fælles konventioner med henblik på at reducere udledningen af næringsstoffer til havet (se kapitel 5), men også her er der de fleste steder et stykke vej endnu, før målene er opfyldte.

Godt fagligt udgangspunkt

Vandrammedirektivet (se kapitel 5) tager udgangspunkt i de enkelte områder. Midlet er at opstille nogle ”operationelle målsætninger”. Det betyder, at man skal definere en tilstand, man kan måle og kontrollere. Det kan være mængden af næringsstoffer, iltforhold ved havbunden, udbredelse af planter, mangfoldigheden af bunddyr o.l. Når man har defineret nogle brugbare målsætninger for de enkelte fjorde og kystvande, må man bevæge sig tilbage – op på land – og finde kilderne til den dårlige tilstand og vurdere, hvad man kan gøre ved disse kilder, så de gør mindre skade.

Hovedparten af næringsstofferne fra Danmark stammer fra landbruget. Man bliver derfor nødt til at reducere tabet af næringsstoffer herfra yderligere, hvis tilstanden i vores fjorde, kystvande og åbne havområder skal blive bedre. Det kan ske på mange måder, og der kan være god grund til at



analysere nye veje i forhold til dem, man er vant til at pege på. Til det arbejde bør man efterlyse et tættere tværfagligt samarbejde mellem de faglige eksperter, der arbejder med problemstillinger inden for henholdsvis landbrug, transport af næringsstoffer fra de dyrkede jorde til vandmiljøet, transport af næringsstoffer i vandmiljøet og påvirkninger i havmiljøet, herunder iltsvind.

Det er uhyre svært at sætte en pris på, hvad det vil koste samfundet at reducere udledningen af næringsstoffer fra landbruget yderligere. Umiddelbart kan det måske koste landbruget penge på kort sigt. Men der er mange og meget komplicerede faktorer i spil, når man skal vurdere den samlede økonomi bag nye reguleringer. Økonomisk støtte til landbruget og værdien af naturen på land og i vandmiljøet er blot enkelte eksempler af mange. Men resultater af svenske undersøgelser tyder som omtalt i kapitel 6 på, at det samfundsøkonomisk kan betale sig at lede færre næringsstoffer ud i havet og derved begrænse udbredelsen af iltsvind. Gælder det så også for danske forhold? Hvis ja, er der måske også et økonomisk incitament til at komme i gang. Der er i hvert fald ingen tvivl om, at der er et miljømæssigt incitament til fortsat at gøre en aktiv og målrettet indsats for at reducere hændelserne af iltsvind i de danske farvande.



Figur 7-5

Landbruget skal tabe færre næringsstoffer som f.eks. her ved Limfjorden, hvis tilstanden i havmiljøet skal forbedres.

Foto: Peter Bondo Christensen.

Der eksisterer en stor viden om kilderne til næringsstoffer og sammenhængen mellem næringsstoffer, vejr, havstrømme og iltsvind. Man skal tage afsæt i denne viden, når man vurderer, hvilke yderligere foranstaltninger der skal sættes i værk for at forbedre miljøet i havet omkring Danmark. Hvis man samler denne viden om iltsvind i danske fjorde, kystområder og de åbne havområder (Kattegat og Bælthavet), kan man summere den i følgende punkter:

- Iltsvind opstår ved en kombination af for mange næringsstoffer, der giver en vækst af for mange planktonalger i vores farvande, en lagdeling af vandmasserne, hvor det saltere og tungere vand lægger sig nederst, og endelig et vejrlig, der giver høj solindstråling og ringe bevægelse af vandet, så bundvandet ikke tilføres ny ilt fra overfladen eller fra andre havområder.
- Der skal ledes færre næringsstoffer ud i fjordene, kystvandene og havet, hvis man skal have færre iltsvind. Man vil fortsat opleve iltsvind i bestemte områder af de danske farvande, men hyppigheden og omfanget vil aftage, hvis tilledningen af næringsstoffer nedsættes.
- De fleste iltsvind er lokale iltsvind, dvs. iltsvind i fjorde og bugter, hvor tilførslen af næringsstoffer fra land er den altdominerende. Op til 90% af de næringsstoffer, der giver en øget produktion i fjorde og kystvande, stammer fra Danmark.
- Ca. 80% af alt det kvælstof, der udledes fra danske landområder til havmiljøet, stammer fra dansk landbrug.
- Specielt tilførslen af kvælstof til kystvandene er afhængig af nedbøren gennem vinteren. I år med meget nedbør bliver der udvasket mange næringsstoffer til havet.
- Efter tørre vintre, som eksempelvis i 1996 og 1997, ser man en øjeblikkelig forbedring i miljøforholdene i kystvandene pga. de færre tilførte næringsstoffer. Det afspejles bl.a. i mere klart vand med færre planktonalger. Forhold, der på længere sigt har en gunstig virkning på hele havmiljøet.
- I de åbne dele af Bælthavet og Kattegat kommer der også meget kvælstof med havvandet fra Skagerrak og Østersøen. En hel del af det kvælstof, der løber ind i Kattegat, er imidlertid ikke anvendeligt for algerne. Med den viden, man har i dag, er det bedste bud, at Danmark bidrager med ca. 30% af det aktive kvælstof, som algerne i Bælthavet og Kattegat kan udnytte. De resterende 70% kommer fra landene omkring Danmark, med havstrømme og fra atmosfæren.

**Figur 7-6**

Døde fisk i strandkanten er det triste billede vi ofte ser af vores havmiljø. Kommer der færre næringsstoffer til havet, vil vi se flere flotte billeder af livet under overfladen, som her en stime af tobis.

Foto: Lars Laursen, Biofoto.

- Hyppige iltsvind giver en markant naturforringelse med et fattigere liv i havet. Flere arter af dyr og planter er allerede forsvundet fra store områder. Havbund, der ofte rammes af iltsvind, bliver en gold ørken, der kun beboes af få arter af bunddyr.
- Naturforringelser forårsaget af iltsvind påvirker vores samfund økonomisk på måder, som kun er ringe belyst. Økonomiske gevinster for samfundet af en effektiv indsats mod iltsvind må med i vurderingen af den kommende indsats på lige fod med udgifterne.
- For at opnå det bedste resultat for en given indsats er det nødvendigt med en differentieret indsats i forskellige områder af Danmark.

På vej

Vandmiljøplanerne har været et skridt i den rigtige retning for at få et bedre vandmiljø. Der er nu effektivt styr på udledningen af fosfor fra industri og byspildevand til vandmiljøet. Udledningerne af kvælstof fra spildevand og landbrug er også blevet reduceret. Det har haft en gavnlig virkning på mange søer og visse fjorde. Men man må stadig lede mindre fosfor og – ikke mindst – kvælstof ud i fjordene og kystvandene, hvis man ikke fortsat skal se billeder i TV og aviser af døde fisk, der skyller i land på de danske kyster i sensommeren.

Litteratur

Kapitel 1

Referencer

Miljøstyrelsen 1984.
Iltsvind og fiskedød i 1981. Omfang og årsager.
Aarup, T. 1994.
Satellitbilleder af danske havområder. Havforskning fra Miljøstyrelsen nr. 42.

Kapitel 2

Anbefalet videre læsning

Jørgensen, B.B. 1980.
Seasonal oxygen depletion in the bottom waters of a Danish fjord and its effect on the benthic community. OIKOS 34: 68-76.
Rabalais, N.N. & Turner, R.E. (Eds.) 2001.
Coastal hypoxia. Consequences for living resources and ecosystems. American Geophysical Union. Coastal and Estuarine Studies No. 58.

Kapitel 3

Referencer

Glob, E. 2002.
Dyreliv på havbunden nu og for 100 år siden. Vand og Jord 2, 2002: 59-62.
Greve, T.M., Borum, J. & Pedersen, O. 2003.
Meristimatic oxygen variability in eelgrass (*Zostera marina*). Limnol. Oceanogr. 48: 210-216.
*Hansen, J.L.S., Josefson, A.B. & Carstensen, J. 2003.
Opgørelse af skadevirkninger på bundfaunaen efter iltsvindet i 2002 i de indre danske farvande. Danmarks Miljøundersøgelser. – Faglig rapport fra DMU nr. 456.
Holmer, M. & Bondgaard E.J. 2001.
Photosynthetic and growth response of eelgrass to low oxygen and high sulfide concentrations during hypoxic events. Aquatic Botany 70: 29-38.
*Teilmann, J., Dietz, R., Larsen, F., Desportes, G., Geertsen, B.M., Andersen, L., Aastrup, P., Hansen, J.R. & Buholzer, L. 2004.
Satellitsporing af marsvin i danske og tilstødende farvande. Danmarks Miljøundersøgelser. – Faglig rapport fra DMU nr. 484.

Anbefalet videre læsning

Lomstein, B.Aa. (red.) 1999.
Havmiljøet ved årtusindskiftet. Olsen & Olsen, Fredensborg.
Plus, M., Deslous-Paoli, J.M. & Dagault, F. 2003.
Seagrass (*Zostera marina* L.) bed recolonisation after anoxia-induced full mortality. Aquatic Botany 77: 121-134.

Kapitel 4

Referencer

*Bøgestrand, J. (red.) 2003.
Vandløb 2002. NOVA 2003. Danmarks Miljøundersøgelser. – Faglig rapport fra DMU nr. 470.
*Ellermann, T., Hertel, O., Skjøth, C.A., Kemp, K. & Monies, C. 2003.
Atmosfærisk deposition 2002. NOVA 2003. Danmarks Miljøundersøgelser. – Faglig rapport fra DMU nr. 466.
*Grant, R., Blicher-Mathiesen, G., Pedersen, M.L., Jensen, P.G., Pedersen, M. & Rasmussen, P. 2003.
Landovervågningsoplande 2002. NOVA 2003. Danmarks Miljøundersøgelser. – Faglig rapport fra DMU nr. 468.

Markager, S. & Christensen, P. B. 2002.
Iltsvind og kvælstof i Kattegat. *Aktuel Naturvidenskab* nr. 4: 12-14.

*Rasmussen, M.B. (red.) 2003.

Marine områder 2002 – Miljøtilstand og udvikling. NOVA 2003. Danmarks Miljøundersøgelser. – Faglig rapport fra DMU nr. 467.

Anbefalet videre læsning

*Christensen, P.B., Dalsgaard, T., Fossing, H., Rysgaard, S. & Sloth, N. 2002.
Stofomsætning i havbunden. TEMA-rapport fra DMU, 42/2002.

Dalsgaard, T. & Kyllingsbæk, A. 2003.

Developments in the nitrogen surplus and the fossil energy use in Danish Agriculture during the 20th century. In: Usó, J.L., Patten, B.C. & Brebbia, C.A. (eds.) *Advances in Ecological Sciences* 18: 699-678.

*HELCOM 2003.

The 2002 oxygen depletion event in the Kattegat, Belt Sea and western Baltic. *Balt. Sea Environ. Proc.* No. 90.

*Ærtebjerg, G. (Red.) 2002.

Marine områder 2001 – Miljøtilstand og udvikling. NOVA 2003. Danmarks Miljøundersøgelser. – Faglig rapport fra DMU nr. 419.

*Ærtebjerg, G., Andersen, J.H. & Hansen, O.S. (Red.) 2003.

Nutrients and eutrophication in Danish marine waters. A challenge for science and management. Danmarks Miljøundersøgelser.

Kapitel 5

Referencer

*Grant, R., Paulsen, I., Jørgensen, V. & Kyllingsbæk, A. 2002.

Vandmiljøplan II – baggrund og udvikling. *Jordbrug & Miljø*, 2. Danmarks Miljøundersøgelser og Danmarks JordbrugsForskning.

Grant, R. & Waagepetersen, J. 2003.

Vandmiljøplan II – slutevaluering. – Danmarks Miljøundersøgelser.

MacKenzie, B.R., Visser, A.W., Fenger, J. & Holm, P. 2002.

Udvalget om miljøpåvirkninger og fiskeriressourcer. Delrapport vedr. klimæændringer. Danmarks Fiskeriundersøgelser, Kgs. Lyngby.

Markager, S. & Storm, L. 2003.

Miljøeffektvurdering for havmiljøet del 1: empirisk modellering af miljøtilstanden i de åbne indre farvande. Rapport fra Institut for Miljøvurdering.

Miljøstyrelsen 2000.

Vandmiljø-2000. Status og perspektiver for indsatsen for et renere vandmiljø. – Redegørelse fra Miljøstyrelsen nr. 7/2000.

Møhlenberg, F. 1999.

Effect of meteorology and nutrient load on oxygen depletion in a Danish micro-tidal estuary. *Aquatic Ecology* 33: 55-64.

Anbefalet videre læsning

Andersen, J., Munk, L.M. & Pedersen, S. 2001:

Vandrammedirektivet,

indhold og perspektiver (1). – *Vand & Jord* 1/2001: 17-21.

Christensen, O.B. 2000.

Drivhuseffekten og regionale klimæændringer. Danmarks Klimacenter, Rapport 00-2.

*Fenger, J. & Frich, P. 2002.

Dansk tilpasning til et ændret klima. Danmarks Miljøundersøgelser. – Faglig rapport fra DMU nr. 401.

HELCOM 2003.

The Baltic marine environment 1999-2002. *Balt. Sea Environ. Proc.* No. 87.

Jørgensen, A.M.K., Halsnæs, K. & Fenger, J. 2002.
Den globale opvarmning - bekæmpelse og tilpasning. Gads Forlag, København.

*Nielsen, K. (Red.) 2003.

Kvantificering af næringsstoffers transport fra kilde til recipient samt effekt i vandmiljøet. Modeltyper og deres anvendelse illustreret ved eksempler. Danmarks Miljøundersøgelser. – Faglig rapport fra DMU nr. 455.

OSPAR 2000.

Quality status report 2000, Region II – Greater North Sea. OSPAR Commission, London.

Pedersen, S., Andersen, J., Dannisøe, J.G., Kaas, H. & Møhlenberg, F. 2002:

Vandrammedirektivet, konkretisering af miljømål (2). - Vand & Jord 1/2002: 25-29.

Kapitel 6

Referencer

Finansministeriet 2001.

Miljøvurdering af finanslovsforslaget for 2002. København.

Hansen, L.G. 2001.

Modelling the effects of complex regulatory constraints – the case of Danish nitrogen regulation. SØM publication nr. 45, AKF forlaget, København.

Leggett, C.G. & Bockstael, N.E. 2000.

Evidence on the Effects of Water Quality on Residential Land Prices. Journal of Environmental Economics and Management 39: 121-144.

Soutukorva, Å. 2000.

The Value of Improved Water Quality - A Random Utility Model of Recreation in the Stockholm Archipelago. Beijer Discussion Paper Series no. 135. Beijer Institute of Ecological Economics, Stockholm.

Toivonen, A.L., Tuunainen, P., Navrud, S., Roth, E., Bengtsson, B., Gudbergsson, G. & Appelblad, H. 2000.

Economic valuation of recreational fishery in the Nordic countries. Tema-Nord 2000: 604.

Turner, R.K. (et al.) 1999.

Managing nutrient fluxes and pollution in the Baltic: an interdisciplinary simulation study. Ecological Economics 30: 333-352.

Anbefalet videre læsning

Navrud, S. (Ed.) 1992.

Pricing the European Environment, Oxford: Scandinavian University Press.

Pedersen, A.B. 2003.

Økonomisk værdisætning af spildevandsemissioner af nitrogen, fosfor og organisk stof – et litteraturstudie. Miljøstyrelsen. Miljøprojekt nr. 821.

Kapitel 7

Anbefalet videre læsning

De døde vande. Jord og Viden. Temanummer nr. 23, 2002.

Hansen, K. 2003.

Der er et yndigt land. Gads Forlag, København.

Hjemmesider

<http://www.limfjord.dk>

<http://www.mariager-fjord.dk/A>

*Alle DMU publikationer kan findes på DMU's hjemmeside:

<http://www.dmu.dk>

Stikordsregister

A

Afstrømningskorrigerede tal · 90
Algeproduktion, historiske
målinger · 92
Alger · 12
kvælstofbehov · 76
næringsstofbehov · 62
Ammoniak · 73
Ammoniakfordampning af · 64
Ammonium · 69, 73
Arkona-bassinet · 45

B

Baggrundsbidrag · 65
Bakterier · 68
Betalingsvilje · 107
Biologisk aktivt kvælstof · 77, 78
Blishøne · 53, 55, 56
Bløddyr · 45
Blåmuslinger · 44
Brisling · 47, 51, 52
Brugsværdi · 106
Bunddyr
genkomst efter iltsvind · 43
iltforbrug · 40
iltkrav · 33
iltsvind · 40
tilpasninger til lavt
iltindhold · 41
Bunddyrlarver · 44
Bunddyrsamfund
Langelandssund · 45
iltsvind · 44
Bundvand, iltindhold · 20
Bundvending · 26, 27
fiskedød · 49
Byspildevandsdirektivet · 88
Bælthavet
definition · 16

iltmålinger i · 12
kvælstoftilførsel til · 74
Børsteorme · 25, 42, 44, 45

C

Cariaco-renden · 11
Chesapeake Bay · 14, 15
model for · 97

D

Denitrifikation · 69
Diffuse kilder · 63, 64
Dybdeforhold i danske
farvande · 17
Dybet, i Mariager Fjord · 11
Dybt område, definition · 16
Dykkende vandfugle · 57
Døde Zone, den · 13

E

Ebeltoft vig · 15
Ederfugl · 57
Eksistensværdi · 107
EU-direktiver · 88

F

Farvande
definition · 16
dybdeforhold · 17
indre · 16
saltindhold i · 21
temperatur i · 22
vandstrømme i · 21
åbne · 16
Femern Bælt · 46
Ferri-jern · 70
Ferro-jern · 71
Fisk · 26
bundlevende · 47

fritsvømmende · 47
genkomst efter iltsvind · 51
iltsvind · 47
iltkrav · 33
tilpasninger til lavt
iltindhold · 47
tolerance over for lavt
iltindhold · 52

Fiskebestande

iltsvind · 50
ålegræs · 50
Fiskedød · 15, 27, 28, 49
1981 · 10
Ålborg Bugt · 48
Fladfisk · 47, 49
Flensborg Fjord · 58, 114
Forårsopblomstring · 23, 63
Fosfat · 70
Fosfor · 62, 64
frigivelse · 72
kredsløb · 70
omsætning i havbunden · 70
Fosforkilder · 65
Fosforoverskud · 91
Fosfortilførsel
afstrømningskorrigeret · 90
internationale begræns-
ninger · 86
Fosforudledning · 63
Fotosyntese · 20, 23
Fralandsvind · 28
Fyrskibe · 92
Føderester · 23

G

Gotlandsdyb · 11
Gråand · 56
Gødningskvoter · 105
Gårdbidrag · 86

H

Habitatdirektivet · 88
Handelsøgøndning · se også kvælstof, fosfor og næringsstoffer forbrug · 12
iltsvind · 12
Handlingsplan for en bæredygtig udvikling i landbruget · 85
Handlingsplaner · 84, 102
omkostninger ved · 102
Harmonikrav · 103
Havbund
iltindhold i · 41
som næringsstofkilde · 67
Havbundsdyr, iltsvind · 25
Havlit · 57
Havmiljømålinger, historiske · 92
Havområder, åbne · 16
Havstrømme · 29
som kvælstofkilde · 77
Havørred · 51
Hjelm Bugt · 46
Humusstoffer · 77
Husholdninger · 67
Husprismetode · 107
Hvide svovlbakterier · 26
Hvilling · 50
Hvinand · 57

I

Ikke-brugsværdi · 107
Ilt
forbrug af · 20
produktion af · 20
Iltindhold, vandets
faktorer af betydning for · 33
havbundens · 41
historiske målinger · 92
målinger af · 12
årlig variation i vandet · 23
Iltmætning · 33
Iltsvind
1986-episoden · 15
2002-episoden · 15, 28, 45, 63, 79, 114

betydning for bunddyr · 40
betydning for fisk · 47
betydning for marsvin · 58
betydning for planter · 36
betydning for vandfugle · 53
definition · 25
dys reaktion på · 26
første i åbne farvande · 10
i Flensborg Fjord · 114
i Limfjorden · 23, 95
naturligt · 10
næringsstoffrigivelse · 72
opståen · 20
Indre farvande
definition · 16
iltindholdets udvikling · 13
kvælstofbudget · 77
springlag i · 21
Industri, miljøomkostninger · 103
Interviewundersøgelser · 109
Isefjord · 32
Ising · 47, 50, 51
Isvinter · 32
vandfugle · 57

J

Jernforbindelser · 26, 70
Jomfruhummer · 25, 42, 44
Jyllandsstrømmen · 75

K

Kalø Vig · 15, 28
Kattegat
definition · 16
fiskebestandsændringer i · 50
iltmålinger i · 12
jomfruhummere i · 45
kvælstoftilførsel til · 74
Kattegatkyst, fiskedød ved · 28
Klimakorrigerede tal · 90
Knopsvane · 53, 55, 56
Knortegås · 53
Kommuner,
miljøomkostninger · 103

Krabber · 25
Krebsdyr · 42, 44, 45
Krikand · 53
Kulstof-14-metoden · 92
Kutling · 47, 48, 51
Kvalitetsmålsætning,
opfyldelse af · 116
Kvælstof · 62
biologisk aktivt · 77, 78
kredsløb · 66, 68
omsætning i havbunden · 68
tilgængelighed for alger · 77
Kvælstofbudget, de indre
farvandes · 77
Kvælstoffrigivelse · 72
Kvælstofgas · 69
Kvælstofilter · 73
Kvælstofkilder · 64, 65
Kvælstofoverskud · 12
Kvælstofregulering · 105
Kvælstoftab · 64, 65
Kvælstoftilførsel · 64
afstrømningskorrigeret · 90
dansk · 67
fra andre lande · 73
med havstrømme · 77

Kvælstoftilførsel
fra luften · 72
internationale begrænsninger · 86
til indre farvande · 74
til Limfjorden · 94
Kvælstofudledning · 63
begrænsning af · 86
Kystområder, iltforhold i · 29
Kystvand
definition · 16
miljøtilstand · 88

L

Landbrug
kvælstoftab fra · 65
fosforoverskud · 91
fosfortab fra · 67

miljøomkostninger · 102
Langelandssund · 45
Lappedykkere · 57
Lattergas · 69
Lavvandede områder
 definition · 16
 næringsstofbelastning · 29
Liglagen · 26
Lillebælt · 10, 72
 bunddyr i · 46
 definition · 16
 iltsvindenes udvikling i · 13
Limfjorden · 12
 iltsvinds udbredelse i · 23
 kvælstoftilførsel · 94
 lagdeling i · 22
 næringsstofbelastning · 13
 udbredelse af kritiske
 iltsvind · 95
 ålegræs i · 37
Lommer · 57
Luft, som næringsstofkilde · 72
Lysbuget knortegås · 56

M

Makrel · 47
Mariager Fjord · 11, 20, 23, 64
 1997-episoden · 49, 51, 63
 bunddyr i · 45
 fiskedød i · 49
 model for · 97
 ålegræs i · 38
Marin sne · 23, 24
Markbidrag · 86
Marsvin · 58
Matematiske modeller · 72, 96
Metan · 27
Mexicanske golf · 13
Miljødebat · 115
Miljøgevinst, værdi af · 106
Miljøkvalitetsmål · 87
Muslinger · 25, 42, 44, 45
Måger · 58

N

NAO · se Nordatlantiske oscillation
Nedbrydning · 24, 68
Nedbør
 og næringsstofudvaskning · 62
 tidspunktets betydning · 63
 Nedfald fra atmosfæren · 73,
 se også lufttilførsel
Nedgravede dyr · 25, 26
Nissum Fjord
 lagdeling i · 22
 vandfugle i · 56
 ålegræs i · 56
Nitrat · 69, 75
Nitratdirektivet · 88
Nitrifikation · 69
Nitrit · 69
Nordatlantiske oscillation · 80
Nordlige Bælthav, definition · 16
Nordsøen
 definition · 16
 nitratindhold · 75
Normalår · 63
Næringsstofbelastning · 29,
 se også næringsstoffer
 nedbørens betydning · 62
Næringsstoffer · 62
 diffuse kilder · 64
 forskellige områders belast-
 ning med · 29
 punktkilder til · 64
 udvaskning af · 29
 årlig variation i vandet · 23
 årsvariation i havets
 indhold · 29
Næringsstofkilder · 64, 65
Næringsstofftilførsel
 fra havbunden · 67
 fra land · 63
 fra luften · 72
 fra Østersøen og Skager-
 rak · 74, 76
kilder · 62
regulering af · 62

Næringsstofudledning · 63
Næringsstofudvaskning · 62

O

Odense Fjord
 ålegræs i · 38, 39
Omrøring · 29
Organisk stof · 68

P

Pantagift · 104
Pedersen, C. G. J. · 10
Pibeand · 53, 55, 56
Pighude · 45
Planktonalger
 årscyklus · 23
 iltsvind · 12
Planter · 36
Punktkilder · 64

R

Recipientkvalitetsplaner · 16
 for Limfjorden · 94
Reduktionsmål · 84, 87
Rejer · 25
Rejseomkostningsmetode · 108
Renseanlæg · 67
Ringkøbing Fjord · 22
Roskilde Fjord · 32
Rødspætte · 47, 50, 52

S

Saltholdighed · 21, 33
Saltholdighedsspringlag · 22
Secchi, A. · 92
Secchi-skive · 92
Sigtdybde · 92
Sild · 47, 51, 52
Skagerrak
 definition · 16
 som næringsstofkilde · 74
Skagerrakvand · 21
Skalleslugere · 57
Skarver · 57

Skive Fjord

bunddyr i · 45

model for · 96

Skovrejsning · 103

Skrubbe · 47, 50, 51, 52

Slangestjerner · 44

Smålandsfarvand · 46

Snegle · 42, 44

Sortand · 57

Sortehavet · 11

Sortkutlinger · 49

Spidsand · 56

Springlag · 21

processer over og under · 25

saltholdigheds- · 22

styrke · 22

temperatur- · 22

tykkelse · 22

Steemann-Nielsen, E. · 92

Stofomsætning, havets · 70

Storebælt

definition · 16

havmiljømålinger i · 92

Svovlbakterier · 26,

se også hvide svovlbakterier

Svovlbrinte · 20, 26, 27, 36, 71

fiskedød · 49

virkning på dyr · 25

Sydfynske Øhav · 37, 39

Sydlige Bælthav · 16

Sømus · 45

Søpindsvin · 45

Søstjerner · 41

T

Temperatur · 33

danske farvandes · 22

Temperaturspringlag · 22

Testamentarisk værdi · 107

Tipper-grunden · 54

Tipperne · 55

Tobis · 48

Torsk · 47, 49, 50, 51

Trådregnorme · 42

Tyske bugt · 75

Tørdeposition · 72

U

Udledningsbegrænsninger · 86

Udvaskning · 62

Ulκ · 47, 51

V

Vadefugle · 53

Vandafstrømning · 63

Vandfugle

altædende · 58

dykkende · 57

græssende · 53

fødemængde · 55

iltsvind · 53

isvintre · 57

Vandmiljøplan I · 15, 84

evaluering · 89

evaluering af · 86

mål opfyldelse · 89

opfyldelse af · 86

Vandmiljøplan II · 15, 85

Vandmiljøplaner · 87

Vandrammedirektivet · 16, 88, 96

Vandstrømme,

danske farvandes · 21

Vejle Fjord · 15, 28, 45, 49

Vind

betydning for iltsvind · 79

iltsvind i limfjorden · 23

springlag · 22

Vinterstorme · 29

Våddeposition · 72

W

Winkler, L. W. · 92

Ø

Økologisk jordbrug · 103

Økonomiske virkemidler · 104

Øresund · 16

Ørred · 52

Østersøen

definition · 16

hydrologiske forhold i · 14

iltsvindenes omfang i · 14

kvælstofbelastning · 76

kvælstofindhold · 76

som næringsstofkilde · 74, 76

Østersøvand · 21

Å

Åbne farvande

definition · 16

iltforhold i · 29

Åbne havområder · 16

Ål · 25, 50, 52

Ålborg Bugt · 15, 28, 48

Ålegræs · 26

dybdeudbredelse · 38

genkomst efter iltsvind · 39

og fiskebestande · 50

og iltsvind · 36

udbredelse · 37, 56

Ålekvalbe 47, 49, 51

Århus Bugt

bunddyr i · 45

matematisk model for frigivelse af næringsstoffer i · 72

ålegræs i · 38

Bidragydere

Jesper H. Andersen er overvågningskoordinator ved Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Marin Økologi. Er uddannet biolog og leder Miljøministeriets marine fagdatacenter, som står for overvågning og forvaltning af vandmiljøet, både nationalt og internationalt.

Jonathan Carl er PhD fra Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Marin Økologi og Aarhus Universitet, Marin Biologisk Afdeling. Har speciale i miljøforholdenes betydning for opvækst af fiskeyngel.

Jacob Carstensen er seniorforsker ved Danmarks Miljøundersøgelser, Afdelingen for Marin Økologi. Har arbejdet med miljøstatistik igennem 15 år, herunder modellering af iltvindsudbredelse og kobling til de afledte virkninger.

Preben Clausen er seniorforsker ved Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Vildtbiologi og Biodiversitet. Arbejder bl.a. med fødeøkologi hos planteædende vandfugle og trækkende vandfugle.

Rune Dietz er seniorforsker ved Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Arktisk Miljø. Har gennem 14 år arbejdet med satellitsporing af sæler og hvaler i Danmark, Grønland, Canada og Færøerne.

Jes Fenger er seniorforsker ved Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Atmosfærisk Miljø. Har de sidste 20 år arbejdet med luftforurening og klimaændringer. Forfatter og redaktør af en række bøger om emnet.

Tina Maria Greve er PhD fra Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Marin Økologi og Københavns Universitet, Ferskvandsbiologisk Laboratorium. Arbejder med populationsdynamik hos ålegræs og andre havgræsser.

Jørgen L. S. Hansen er seniorforsker ved Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Marin Økologi. Arbejder bl.a. med økologi hos marine bunddyr.

Ole Hertel er seniorforsker ved Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Atmosfærisk Miljø. Har arbejdet med matematiske modeller for luftkvalitet gennem 16 år, herunder modeller for atmosfærisk afsætning af kvælstof.

Alf B. Josefson er seniorforsker ved Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Marin Økologi. Har gennem 30 år arbejdet makrobundfauna, herunder virkningen af eutrofiering.

Dorte Krause-Jensen er seniorforsker hos Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Marin Økologi. Arbejder med økologi hos havgræsser og makroalger og er ansvarlig for Vandmiljøplanens Overvågningsprogram om bundvegetation.

Anders Branth Pedersen er PhD stipendiat ved Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Systemanalyse og Aarhus Universitet, Institut for Statskundskab. Beskæftiger sig bl.a. med virkningerne af grønne afgifter og med beslutningsprocesser vedrørende regulering og genopretning af vådområder.

Ib Krag Petersen er akademisk medarbejder ved Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Vildtbiologi og Biodiversitet. Arbejder bl.a. med kortlægninger af vandfugle i danske farvande.

John Fleng Steffensen er lektor ved Københavns Universitet, Marinbiologisk Laboratorium. Er uddannet som dyrefysiolog og har gennem 20 år bl.a. arbejdet med fisks fysiologiske tilpasninger til iltfattigt vand og lave temperaturer.

Jonas Teilmann er seniorforsker ved Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Arktisk Miljø. Er ph.d. i marsvins adfærd i relation til bifangst i fiskeriet og har gennem 8 år arbejdet med satellitsporing af sæler og hvaler.

Iltsvind

Red. Peter Bondo Christensen, Ole Schou Hansen og Gunni Ærtebjerg

Engang var iltsvind et naturligt fænomen, der kun optrådte få steder i danske farvande. Men i løbet af 1980'erne kom der flere og flere iltsvind i områder, hvor der ikke normalt skal være det. Det har haft vidtrækkende konsekvenser for vore farvande. Næringsstoffer fra landbrug og spildevand, vejrforhold og de fysiske forhold i havet har alle betydning for, hvor omfattende et iltsvind bliver. Vi kan kun styre den ene faktor, nemlig hvor mange næringsstoffer, vi leder ud til havet. Iltsvind – og ikke mindst betydningen af næringsstofferne fra land – har været genstand for heftig debat igennem årene. I denne bog finder man de hidtil mest omfattende og ajourførte oplysninger om

- hvordan iltsvind opstår og udvikler sig
- hvordan iltsvind påvirker havets dyre- og planteliv
- hvilken rolle næringsstoffer fra landbrug og andre kilder spiller
- hvad der bliver gjort – og kan gøres – for at undgå iltsvind

“Iltsvind” er skrevet for ikke-eksperter uden at slække på den faglige kvalitet og vil gøre det lettere at følge debatten.

ISBN 87-7739-734-7



Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet