

Naturen sætter en grænse

– status for diskussionen om landbrug, kvælstof og havmiljø

Bølgerne går igen højt i den offentlige debat om landbrugets udledning af næringsstoffer til miljøet. Stig Markager gør i denne artikel rede for sammenhængene mellem næringsstofftilførsel og miljøtilstand set fra et naturvidenskabeligt perspektiv.

Om forfatteren



Stig Markager er professor på Institut for Bioscience - Marin biodiversitet og eksperimentel økologi Aarhus Universitet ssm@bios.au.dk

I 1972 kom Rom-klubben med rapporten *Grænser for vækst*, som senere blev til en bog af samme navn. Den kan synes lidt gammeldags i dag 43 år efter. Men det, vi oplever i 2015 i Danmark, er et skoleeksempel på netop det – at naturen sætter en grænse. *Der er en grænse for, hvor mange næringsstoffer man kan udlede til miljøet, uden at følgerne for naturen bliver uacceptable.* Emnet er relevant i Aktuel Naturvidenskab, fordi naturvidenskabelige argumenter bruges og misbruges i den offentlige debat. Følelserne kan komme så meget i kog, at ekstreme udsagn som “den rødgrønne femtekolonne” kommer i brug.

Sætningen ovenfor indeholder to udsagn. Det første er, at der er sammenhæng mellem tab af næringsstoffer til omgivelserne og naturens tilstand – ren naturvidenskab. Den anden påstand er, at der er en “uac-

ceptabel” tilstand for naturen. Det er et værdiladet udsagn, som indeholder elementer af etik, værdier, økonomi og politik. Her må banen være helt åben – det handler om værdier og holdninger. Påstande om naturvidenskabelige sammenhænge kan og bør derimod granskes inden for den naturvidenskabelige referenceramme. Målet med denne artikel er at give en status for vores naturvidenskabelige viden om emnet og gennemgå de mest almindelige påstande.

Næringsstoffer og vandmiljøet

Den grundlæggende effekt af kvælstof er, at væksten af planteplankton stiger. Herved starter en kaskade af effekter, som fuldstændigt ændrer miljøtilstanden i lavvandede fjorde, som vi har til overflod i Danmark. Vandet bliver uklart, og planterne på bunden forsvinder pga. lysmangel. Det gør havbunden ustabil og mere eksponeret, så den oftere



Foto: Stiig Markager

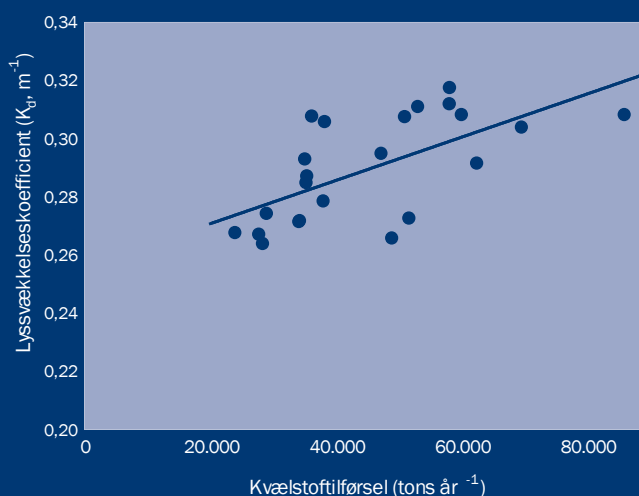
hvirvles op af bølger, og vandet bliver endnu mere uklart – en selvforstærkende proces. Mere plan-
teplankton fører også til højere primærproduk-
tion, som tilfører mere organisk stof til vandet og
bunden. Det øger iltforbruget og forårsager ilt-
svind. Iltsvind ændrer de kemiske processer i hav-
bunden, så giftig svovlbrinte frigøres, og fosfor og
kvælstof frigøres fra bunden til vandsøjlen ovenover,
hvor det på ny stimulerer planteplanktonets vækst –
endnu en selvforstærkende proces. Disse sammen-
hænge er veldokumenteret for utallige fjorde og
kystnære havområder verden over.

Fosfor eller kvælstof?

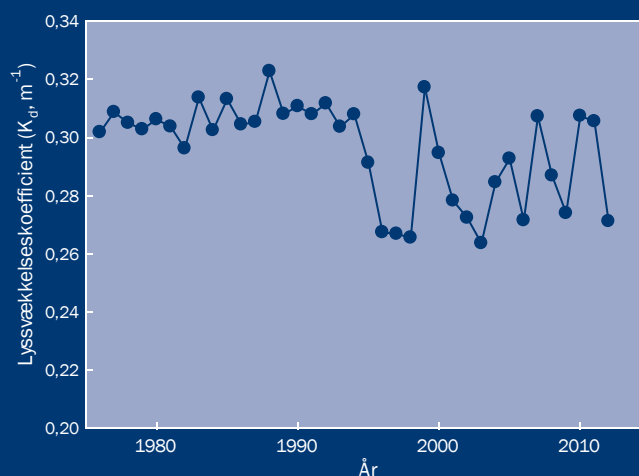
De samme principper gælder for fosfor, som beskre-
vet ovenfor for kvælstof. Det afgørende for deres
relative betydning er, hvilket næringsstof der er
mindst af i forhold til planternes behov. I ferskvand



Fytoplankton er mikroskopiske alger, som svæver i vandet. De kan antage mange
former og er ofte meget smukke. Hele planten er aktiv i fotosyntesen, dvs. de har
ikke rødder eller stængler, som skal holdes vedlige. Vækstraten kan derfor blive
meget høj, for nogle arter en fordobling pr. dag, når lys og næringsstoffer er til
stede i rigelige mængder. Økosystemet bliver dermed meget ustabil, og vandet
kan gå fra at være klart til ekstremt grønt på få dage.

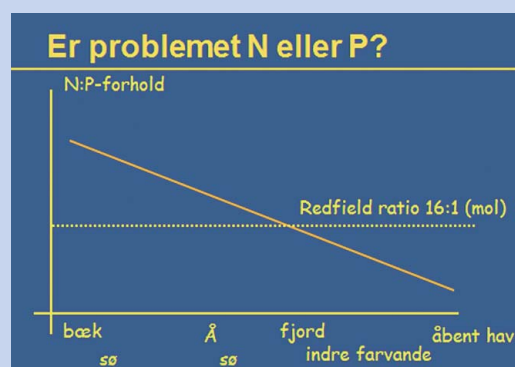
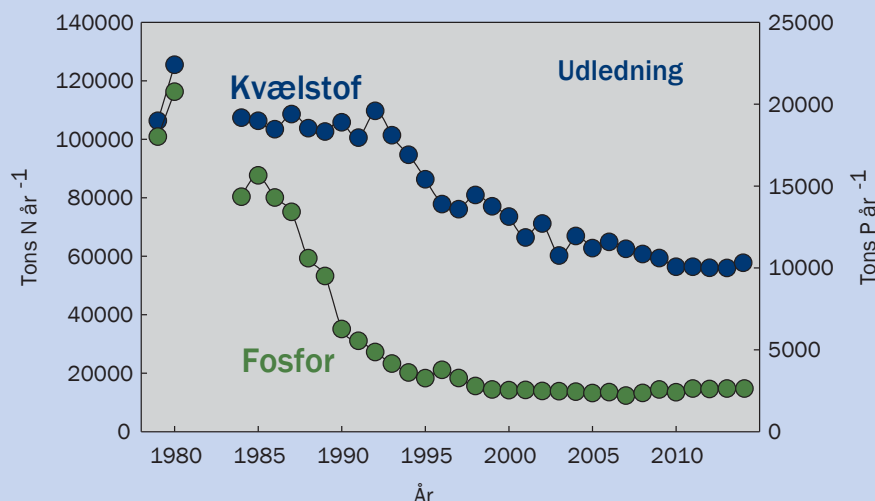


Eksempel på sammenhæng mellem kvælstoftilførsel og vandets klarhed. Figuren
viser årligt gennemsnit af lyssvækkelseskoefficienten for seks stationer i Kattegat
og Bælthavet mod danske landbaserede kvælstoftilførsler til de indre farvande
(lidt lavere end værdierne for tilførslerne til alle danske farvande). Sammenhæn-
gen er signifikant ($p < 0,01$). Hvis Sveriges og Tysklands tilførsler inkluderes, bliver
sammenhængen svagere, hvilket indikerer den store betydning af danske tilførsler.
En tilsvarende sammenhæng for en fjord viser en stærkere sammenhæng.



Figuren viser, hvordan vandet langsomt bliver mere og mere uklart fra midt-70'erne
til 1994, hvor Danmarks reduktioner i kvælstoftilførsler begynder. Der er store
år-til-år svingninger, som skyldes variationer i nedbør og dermed kvælstoftilførsler,
temperatur og vind. Højere lyssvækkelse er lig mere uklart vand.

Danmarks landbaserede udledninger af kvælstof og fosfor fra 1979 til 2014 ved normal nedbør. Udledningerne fra før 1989 er usikre, da der ikke var en samlet landsdækkende model.



Skematisk figur af N:P forholdet i akvatiske miljøer.



Figuren viser kvælstofoverskuddet i dansk landbrug siden år 1900. Pilene viser stigningen i forhold til år 1900.

er det oftest fosfor, og i det åbne hav er det kvælstof, som mest begrænser planteplanktonets vækst. Danske fjorde repræsenterer en overgang, hvor fosfor er i underskud om foråret. Senere på året skifter det, så kvælstof bliver begrænsende, fordi fosfor i højere grad end kvælstof tilføres fra havbunden, efterhånden som ilten i havbunden bruges op, mens kvælstof tabes ved nitrataånding (denitrifikation). I Kattegat er fosfor kun begrænsende i nogle dage om foråret, i Bælthavet er det begrænsende i nogle uger, og i fjordene kan fosfor være begrænsende helt hen i juni. Når det er sagt, er koncentrationerne af *både* fosfor og kvælstof ofte lave om sommeren, så planteplankton bruger ressourcer på at maksimere optaget af begge stoffer. Tilføres der mere af enten fosfor eller kvælstof, vil begge stoffer ofte stimulere væksten af planteplankton.

Interesseorganisationen Bæredygtigt Landbrug (BL) postulerer, at det kun er fosfor, som er et problem, og da det ifølge dem primært tilføres med byspildevand, skulle dette argument frikende landbruget for ansvar for havets miljøproblemer. Argumentet er, at mangel på kvælstof automatisk vil kompenseres af kvælstoffiksering hos cyanobakterier (blågrønalger). Omvendt skulle – stadig ifølge BL – for meget

kvælstof automatisk blive fjernet ved kvælstoffånding. Begge påstande er forkerte.

Cyanobakterier trives kun ved saltholdigheder under ca. 12 promille og findes derfor kun i Østersøen og i de allerinderste dele af fjordene. Med års mellemrum kan sydøstlige vinde drive masseforekomster op i Øresund og længere nordpå, men de vokser kun aktivt i Østersøen. Cyanobakterier kræver desuden høje temperaturer (sensommeren) og vokser generelt langsomt, så normalt taber de i konkurrencen med andre arter. I Kattegat og Bælthavet bidrager deres kvælstoffiksering kun med 4-5 % af den samlede kvælstoftilførsel. Fjernelse af kvælstof ved nitrataånding er også i havet en vigtig proces og betyder, at kvælstof ultimativt vil komme i underskud i forhold til fosfor på vandets vej fra marken til det åbne hav. Men processen kræver iltfrie forhold. Der går derfor lang tid, før kvælstof er fjernet, ofte først efter at det kommer ned i den iltfrie del af havbunden. Længe inden da, er vandet løbet videre på sin vej mod oceanerne.

Stadig meget høje tilførsler af næringsstoffer
Endelig er det ikke korrekt, at fosfor hovedsagelig kommer fra byspildevand. Sådan var det engang. Men siden sidst i 1980'erne er spildevandet blevet renset



Foto: Helle Knudsen-Leerbeck

Planter og kvælstof

Planter har brug for kvælstof. Billedet viser søsalat (*Ulva lactuca*) i laboratoriet. Planterne til højre får tilført kvælstof hver dag og er sunde og mørkegrønne. Planterne til venstre har ikke fået kvælstof i 24 timer. De kan ikke danne klorofyl – eller mere præcist de membraner, klorofyl skal sidde i – og er derfor lysegrønne, og deres vækst er allerede stoppet. Billedet illustrerer, hvor potent kvælstof er i havet. Der er ikke noget nyt i, at planters vækst er afhængig af kvælstof, og det er præcis derfor, at landbruget bruger store mængder kvælstof, og at det var en revolution for menne-

skeheden, da Haber og Bosch opfandt metoden til at binde luftens kvælstof i 1909-10. I havet reagerer de mikroskopiske alger i vandet præcis som søsalat, men da de er endnu mindre og har et større overflade/volumen-forhold, kan de vokse endnu hurtigere. Helt generelt er kvælstof en "mangelvare" i naturen, og en stor del af evolutionen hos planter og dyr har handlet om at optage og økonomisere med kvælstof. Når kvælstof så bliver tilgængeligt i overflod, ændrer det artssammensætningen og økosystemets struktur, både i vand og på land.

effektivt, og i dag kommer fosfor overvejende fra det åbne land. Så forureningen af havet med både fosfor og kvælstof stammer alt overvejende fra landbruget.

I 1980'erne var Danmarks udledninger omkring 120.000 tons kvælstof og 20.000 tons fosfor pr. år. Det er siden reduceret til omkring 57.000 tons kvælstof og 2.400 tons fosfor, dvs. med henholdsvis ca. 52 % og 88 %. Af de 57.000 tons kvælstof, som udledes i dag, kommer ca 66 % fra landbruget, 23 % som baggrund fra det åbne land og 11 % fra rensningsanlæg.

Der har været en meget markant reduktion af Danmarks næringsstoffertilførsler til havet, som har medført meget betydelige og veldokumenterede forbedringer af miljøet. Ser man på tilførslerne i et lidt længere perspektiv, er de dog stadig meget høje. Kvælstofoverskuddet i landbruget er således stadig fire gange over niveauet for 100 år siden, og det nuværende overskud svarer til niveauet omkring 1970. Der er en vis usikkerhed, når man overfører tal for kvælstofoverskud på marken til tilførsler til havet. Nitratånding betyder, at kvælstof tabes på vejen fra marken til havet. For hundrede år siden var der langt mere vand i landskabet og derfor både en længere

transporttid for kvælstof fra marken til havet og flere vandmættede jorde med ofte iltfrie forhold på vejen, hvor nitratånding fjernede kvælstoffet. Paradokset er, at mange af de tiltag, som vi i dag må tage i brug for at mindske udledningerne af både kvælstof og fosfor, handler om at bringe vandet tilbage i landskabet!

Kommer næringsstofferne til os udefra?

I fjordene kommer langt den overvejende del af næringsstofferne fra dansk land, men i Kattegat og Bælthavet er det mere kompliceret. Årligt strømmer der 515 km³ vand ud gennem de danske bæltter som nedbørsoverskud fra Østersøen. Endvidere tilføres 800 km³ tungt saltholdigt bundvand fra Skagerrak til Kattegat, hvor det blandes op i det lettere overfladevand og passerer ud igen til Skagerrak. De store vandmængder indeholder kvælstof og fosfor, så målt på de total mængder, er de danske tilførsler små. For kvælstof er de beregnet til 10 %. Dette tal giver dog ikke et retvisende billede, da langt hovedparten af kvælstoffet i havstrømmene er bundet i humusstoffer og derfor ikke er tilgængeligt for planteplanktonets vækst. Den danske andel af det kvælstof, planteplanktonet kan bruge, er 16 % for Bælthavet og Kattegat. Det sidste tal giver dog heller ikke et retvisende billede af danske tilførslers effekt. Modelbereg-

EU's Vandrammedirektiv – lige vilkår for naturen

Da EU's vandrammedirektiv blev vedtaget i 2000 var det et fremsynet nybrud inden for naturforvaltning. Vandrammedirektivet tager udgangspunkt i naturen og har som målsætning "god økologisk tilstand" (GØT). Tidligere havde vi nationale planer, hvis mål var en given påvirkning – for havet en reduktion af udledninger af N og P med henholdsvis 50 og 80 %. Der var ingen som vidste, om det var nok – eller for meget – for at opnå et godt havmiljø. Da udgangspunktet heller ikke var defineret, blev det hurtigt noget rod.

I Vandrammedirektivet er GØT defineret ved en række indikatorer, som tager hensyn til de lokale økologiske forhold. Det er oplagt, at GØT ikke er ens alle steder. Fx vil det aldrig være muligt at opnå samme klare vand i en dansk fjord som i Middelhavet. Omvendt vil et miljømål i Middelhavet for vandets klarhed, som vi finder det i Danmark, være en katastrofe, da havgræsser her naturligt vokser ned til 45 meter. I Danmark er vores lokale havgræs – ålegræs – aldrig observeret dybere end ca. 14 m. I Danmark bruges netop dybdegrænsen for ålegræs som en vigtig indikator. I de første vandplaner var

det den eneste indikator. I 2. generation af vandplaner bruges også koncentrationen af klorofyl i vandet, vandets klarhed, om algernes vækst potentielt er kvælstofbegrænset og forekomsten af iltsvind.

En vigtigt – og ofte overset – konsekvens af vandrammedirektivets fokus på naturen er, at det *ikke* giver – og ikke *skal* give – lige vilkår for at dyrke landbrug mellem de forskellige lande og mellem områder i Danmark. Afvander ens marker ud til en lukket sårbar fjord, som mange danske fjorde er, så har man ringere vilkår for at dyrke landbrug, end hvis man afvander ud til en åben kyst, fx det åbne Atlanterhav, hvor næringsstofferne i højere grad forsvinder. Dette er principielt ikke anderledes end for andre forhold. Naturen, fx i form af jordbund, temperatur eller nedbør, har altid været et rammevilkår for landbrug. Det nye er, at den ubegrænsede evne og mulighed for at tilføre marken næringsstoffer, flytter den begrænsende faktor fra at være jordens naturlige frugtbarhed, til det omgivende miljøes sårbarhed.

Faktatjek af udsagn i debatten

1. Nitrat modvirker iltsvind', Nitrat fra landbruget er gavnligt, ... det sørger for ilt til vandmiljøet:

Forkert! Nitrat indeholder ilt, men det er alligevel skadeligt for vandmiljøet. Nitrat indeholder som bekendt tre iltatomer og et kvælstofatom. Ved en koncentration på 4 mg N l⁻¹ (18 mg nitrat l⁻¹) og en iltkoncentration på 11,2 mg l⁻¹ (typiske værdier for et dansk vandløb om vinteren) er der mere ilt bundet i nitrat end som opløst frit ilt (O₂). Men vandløbet strømmer ud som overfladevand i havet, og det er ikke ved overfladen, der er iltproblemer. Iltsvind opstår i og ved bunden pga. organisk stof, som synker ned med planktonalger, som vokser, når der tilføres nitrat. Derfor fører nitrat til iltsvind i havet.

2. Danske miljøregler betyder, at dansk korn indeholder så lidt protein, at det får en dårlig kvalitet:

Forkert! Proteinindholdet i korn er faldet siden 1890, især

fordi man har fået sorter, som vokser hurtigere og får større kerner og dermed højere udbytte. Så er det svært at få et højt proteinindhold. Det er korrekt, at generelle gødningsnormer sammen med højtydende sorter kan give problemer. Løsningen er målrettet regulering, hvor landmanden fx får lov til at bruge mere kvælstof på nogle marker, mod så at bruge mindre på andre arealer, eller tager arealer helt uf af drift. Dyrker man 62 % af Danmarks areal med de mest højtydende sorter og tilsvarende gødningsforbrug, bliver tabet af kvælstof meget højt, og som sagt: »der er grænser for vækst».

3. Det forbedrer ikke havmiljøet at Danmark sænker næringsstoffertilførslerne:

Forkert! I artiklerne *Riemann et al 2015* og *Lyngsgaard et al 2014* er det fx entydigt vist, at de reduktioner i tilførslerne Danmark har gennemført siden 1990 har givet signifikante miljøforbedringer.

ninger viser, at hovedpart af miljøeffekten af nitrat sker inden for ca. 25 km fra kilden. Forklaringen er den, at nitrat optages og indbygges i planteplanktonet. Når planteplanktonet dør, nedbrydes det organiske stof, men denne nedbrydning er ufuldstændig, og via en række processer ender over 90 % af kvælstoffet med at blive indbygget i relativt inaktive humusstoffer. Kvælstofs miljøeffekt skal derfor ses i to faser. Først er der en hurtigt og kraftig effekt af uorganisk kvælstof – dvs. nitrat og ammonium – på planteplanktonets vækst, som giver umiddelbare og lokale effekter inden for ca. 25 km i afstand og uger eller få måneder efter, udledningen er sket. Derefter ophobes kvælstofrigt organisk stof som humusforbindelser i vandet og mudder på havbunden. Fra disse kilder vil kvælstof langsomt – over måneder til årtier – frigives og igen stimulere planteplanktonets vækst. De negative effekter af eutrofiering er således en kombination af vores udledninger her og nu, og tidligere eller fjertliggende udledninger.

Indbygget tidsforsinkelse

Miljøtilstanden i havet er blevet markant bedre over de senere år. Den markante reduktion i udledningen af fosfor fra renseanlæg midt i 1980'erne førte til en hurtigt og markant forbedring med mindre planteplankton og klarere vand om foråret. Kvælstoftilførslerne begyndte først at falde efter 1994, og siden har vi set en langsom men tydelig forbedring i miljøtilstanden. Der er dog en tidsforsinkelse indbygget. Der går 8-10 år fra næringsstofftilførsler reduceres til den fulde effekt slår igennem på næringsindholdet i fjordene. Den vigtigste grund til forsinkelsen er næringspuljer i bunden, som skal indstilles i en ny ligevægt med de lavere tilførsler og koncentrationerne i vandsøjlen. De store puljer i havbunden skal først falde til et lavere niveau, og det tager tid. Først derefter oplever planteplankton en mindre adgang til næringsstoffer med deraf følgende mindre produktion af organisk stof og klarere vand. Omkring 95 % af alt kvælstof ligger i de øverste 20 cm af havbunden, så havbunden "husker" fortidens synder.

To vigtige kvalitetsmål – iltsvind og udbredelse af ålegræs – har været særligt længe om at vise en positiv udvikling. For iltsvind hænger det sammen med de store puljer af organisk stof (mudder), som er lagret på havbunden og som i kombination med stigende vandtemperatur og mindre vind fortsat kan udløse iltsvind. For ålegræs skyldes det, at lysforholdene kun langsomt bliver bedre, iltsvind fortsat er udbredt og ålegræs er længe om at etablere nye bestande. Vi har dog set en tydelig positiv udvikling i fjordene de seneste seks år.

Kan havmiljøet blive som "i de gode gamle dage"?

Bliver det nogensinde som før? Hvor længe vil det vare, før det bliver "godt", og hvor meget skal til-

førsler af kvælstof og fosfor reduceres for at opnå vandrammedirektivets mål om "god økologisk tilstand"?

Der er forskellige meninger om, hvorvidt et godt havmiljø kan genskabes. I nogle fjorde er bunden så "mudret", at det kan tage flere årtier at rette op på. Til den tid kan klimaforandringer betyde, at det er et andet havmiljø, vi får, så måske bliver det aldrig helt som før. De fleste steder er der dog ingen grund til at tro, at miljøet ikke kan blive som i 1950'erne, da vandet var klart, ålegræs var vidt udbredt og bestandene af bundfisk var rigelige. Men genopretningen vil tage 20-30 år fra nu, og den forudsætter, at man fra politisk hold fastholder overholdelsen af EU's vandrammedirektiv.

Anden generation af vandområdeplaner var i høring i 2015. Den politiske vedtagelse skulle være sket inden jul 2015, men er nu udskudt til 2016. Der er lavet en række faglige rapporter, som grundlag for vandplanerne. Her er der beregnet, hvor meget kvælstoftilførslen til 120 marine områder skal reduceres for at opnå god økologisk tilstand. Lægges man dem sammen, skal de danske landbaserede kvælstoftilførsler ned på omkring 42.000 tons pr. år, svarende til en reduktion på 26 % af de nuværende tilførsler. Kun ca. 10 procent af de 120 havområder har i dag god økologisk tilstand. Der er således ingen tvivl om, at Danmark ikke opnår målet i vandrammedirektivet om god økologisk tilstand i 2015, ej heller i 2021, som er den næste frist. I 2027 er det for mange områder muligt at opnå målet, forudsat at tilførslerne inden for få år reduceres til 42.000 tons N pr. år. Hvis Danmark bevarer fokus og fastholder det lange seje træk, kan det lykkes. Omvendt kan vi smide de opnåede gevinster væk på et par år, hvis tilførslerne for lov at stige igen.

Der er andre faktorer, som har en negativ påvirkning af havet, men samlet er det alt overvejende danske tilførsler af næringsstoffer, som bestemmer miljøtilstanden i de danske fjorde og også langt hen ad vejen i Bælthavet og Kattegat.

Naturens grænse

I EU's vandrammedirektiv er god økologisk tilstand defineret ud fra ålegræssets dybdegrænse og mængde af planteplankton i vandet. Med dagens klima og den nuværende miljøtilstand, viser flere forskellige typer beregninger som nævnt, at den øvre grænse for kvælstoftilførslen fra land ligger på 42.000 tons pr. år. Ser man på de enkelte fjorde er der stor variation. Nogle steder er god økologisk tilstand næsten opnået og vil antagelig indfinde sig efter nogle år uden yderligere anstrengelser. I den anden ende af spektret er der fjorde – fx Skive Fjord og Mariager Fjord – hvor en halvering af tilførslerne er nødvendig for at opnå god tilstand i fremtiden. ■

Videre læsning

Lyngsgaard, M. M., Markager, S., & Richardson, K. (2014). Changes in the vertical distribution of primary production in response to land-based nitrogen loading. *Limnology and Oceanography*, 59(5), 1679-1690.

Riemann, B., J. et al (2015) Recovery of Danish coastal ecosystems after reductions in nutrient loading: trends and time lags. *Estuaries and Coasts*, doi:10.1007/s12237-015-9980-0

Maar, M., S. Markager, K. S. Madsen, J. Windolf, M. M. Lyngsgaard, H. E. Andersen, E. F. Møller. (2016) The importance of local versus external nutrient loads for Chl a and primary production in the Western Baltic Sea. *Ecological Modelling*, 320, 258-272.

Jørgensen, L., S. Markager & M. Maar (2014) On the importance of quantifying bioavailable nitrogen instead of total nitrogen. *Biogeochemistry* 117, 455-472. doi: 10.1007/s10533-013-9890-9.

Timmermann, K., J. Christensen, C. Murray & S. Markager (2015) Modeller for Danske Fjorde og Kystnære Havområder – del 3

Erichsen, A.C., H. Kaas, K. Timmermann, S. Markager, J. Christensen, C. Murray (2014) Modeller for Danske Fjorde og Kystnære Havområder – Del 1, Metode til bestemmelse af målbelastning. DHI-Aarhus Universitet.