

Stor udbredelse af ålegræs bliver ofte set som et tegn på et sundt vandmiljø i en fjord.

Foto: Colourbox

GØDNING FRA LANDBRUG GØR SÆRLIGT ONDT PÅ DANSK HAVMILJØ

Forfatteren:

Kristian Sjøgren er videnskabsjournalist, ksjoegren@gmail.com



Om forskeren

Stiig Markager er professor i marin økologi og biogeokemi på Institut for Ecoscience, Aarhus Universitet. Han forsker i algers vækst og fotosyntese. I 1998 udviklede han de første modeller for danske fjordes respons på næringsstoffer (eutrofiering), og den forskning er i dag grundlaget for Danmarks forvaltning af havet i forhold til næringsstoffer.

Stiig Markager holder den 7. oktober foredrag om netop tilstanden i de danske farvande i serien Offentlige Foredrag i Naturvidenskab, der livestreames til lokationer over hele landet. Se ofn.au.dk

Særlige forhold i de danske farvande gør, at de danske fjorde og havområder lider meget under landbrugets udledning af kvælstof- og fosforforbindelser. Ifølge professor Stiig Markager er det dog stadig muligt at rette op på skaderne, og den grønne trepartsaftale er et godt skridt på vejen.

I 1910 skete der noget, som skulle vise sig at sætte et af de mest eftertrykkelige positive aftryk på verden og desuden et meget negativt aftryk på Danmark. Den tyske kemiker Fritz Haber havde nogle år forinden udviklet en metode til at fremstille ammonium og nitrat ud fra atmosfærisk nitrogen og dermed gjort det muligt at fremstille kunstig gødning af ren luft. I 1910 blev metoden videreudviklet til at fungere på industriel skala, og allerede i 1914 nåede den daglige produktion af ammoniak op på 20 ton om dagen. I dag er den daglige produktion 500.000 ton.

Haber-Bosch-processen, som den kemiske proces hedder, er en vigtig milepæl i verdenshistorien, fordi den gjorde det muligt at producere mange flere afgrøder på de

samme marker simpelthen ved at gøde dem. Landbrugets produktivitet eksploderede, og menneskeheden, der indtil da havde levet i en spændetrøje af manglende ernæring, begyndte at vokse både i antal og i højde og drøjde. I Danmark er den gennemsnitlige mand vokset med 11 centimeter fra opfindelsen af Haber-Bosch-processen til i dag.

Der er rigtig meget godt at sige om Haber-Bosch-processen og adgang til kvælstof ad libitum, men alt det kvælstof skabte et andet problem. For det første har kvælstof altid været en mangelvare i naturen, og det har skabt en rig biodiversitet med et væld af planter og træer, der på hver deres måde enten trak kvælstof ud af luften, blev bedre til at holde på det eller sågar fandt på metoder til at genanvende det.

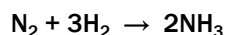
Kløver og andre bælgeplanter kan som eksempel indgå i symbioser med nitrogenfikserende bakterier og på den måde få adgang til kvælstof fra atmosfæren. Når træer smider bladene om efteråret, gør de først det, at de trækker alt det værdifulde kvælstof ud af dem, inden vinden tager bladene med. Efter at hele landskabet blev badet i kunstig produceret kvælstof, forsvandt den fordel, som det var at have udviklet særlige metoder til at overleve i et kvælstoffattigt miljø. Det vil sige, at primært høje græsser og brændenælder trivedes i den natur, som kom efter Haber-Bosch.

Og så skete der også noget med vandet...

»Vi lever i menneskets tidsalder, hvor mennesker og vores husdyr

Produktion af ammoniak

Haber-Bosch - processen:



Nitrogen(gas) + Hydrogen(gas) → Ammoniak

Udviklingen af Haber-Bosch-processen er en vigtig milepæl i verdenshistorien, fordi den gjorde det muligt at producere mange flere landbrugsafgrøder.

Foto: Colourbox



Stof	Naturlig rate	Menneske-skabt rate	Procent stigning
C - Kulstof	61.000	8.000	+13%
N - Kvælstof	130	140	+108%
P - Fosfor	3	12	+400%
S - Svovl	80	90	+113%

Enhed: millioner tons/år

Tabel over den menneskabte udledning på verdensplan. SM.

dominerer biodiversiteten på Jorden ved at udgøre den klart største biomasse sammenlignet med bestanden af vilde dyr. Vi brænder kul og olie af og ændrer på den måde på klimaet. Vi fremstiller desuden gødning ved hjælp af Haber-Bosch-processen og graver fosfor, der også benyttes i landbruget, op fra undergrunden. Alt sammen påvirker jordens kulstof-, kvælstof- og fosforkredsløb. Kigger man på kulstof, har vores aktiviteter ledt til en ændring i jordens kulstofkredsløb på 13 procent. Resultatet er de klimaforandringer, som vi ser i dag. Til sammenligning har vi ændret på klodens kvælstofkredsløb med 108 procent og klodens fosforkredsløb med over 400 procent. Resultatet kan man se blandt andet i de danske havområder, som lider under tilførslerne af kvælstof og fosfor,« fortæller professor Stiig

Markager fra Institut for Ecoscience ved Aarhus Universitet.

Kaskade leder fra kvælstof-udledning til fiskedød

Problemet med udledning af kvælstof- og fosforforbindelser fra landbruget til de danske farvande handler meget simpelt om biologi. Ligesom planterne på landmandens mark vokser mere, når de har adgang til rigeligt med næringsstoffer, gør algerne i havet det også. Faktisk kan havets alger vokse ekstremt hurtigt, når de får adgang til kvælstof og fosfor, og så kan én alge bliver til tre i løbet af kun 24 timer.

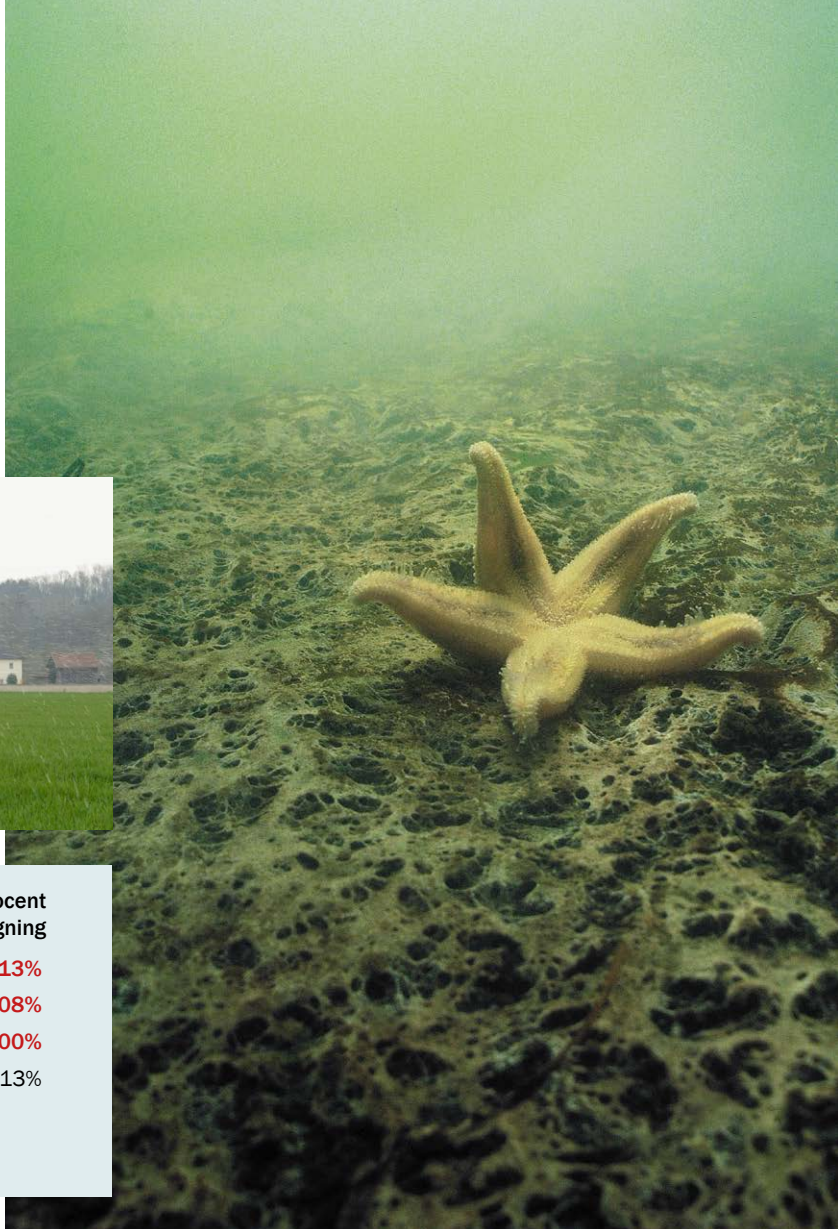
Når algernes vækst eksploderer, bliver vandet mere grumset. Det gør det svært for sollys at trænge ned til havbunden, hvor ålegræs og tangplanter oplever, at lyset bliver slukket. Over tid dør de derfor i

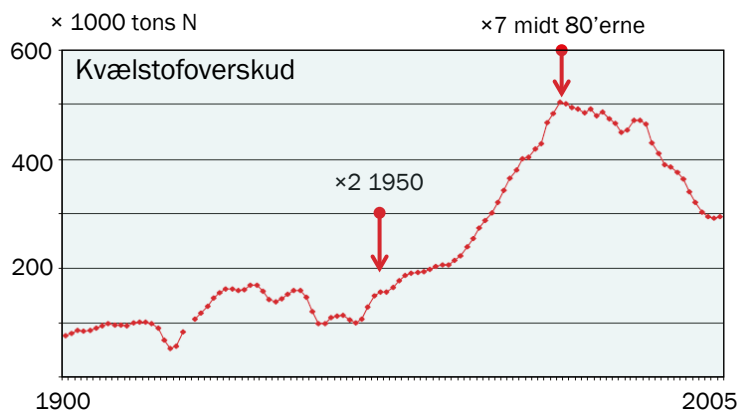
mørket. Derudover skaber algerne en regn af dødt organisk materiale, som langsomt daler mod havbunden. Det danner et tykt mudderslag, hvor bakterier bruger ilt på at nedbryde de døde alger, der bliver ved med at drysse ned fra oven. I takt med at iltten bliver brugt op, skaber det en situation, hvor blandt andet muslinger og krebsdyr ikke længere kan få vejret. Dem, der kan flytte sig, gør det, og dem, der ikke kan, dør og nedbrydningen af dem øger iltforbruget.

Selvom livet i havbunden allerede på dette tidspunkt er presset, er bakterierne ikke færdige med at gøre miljøet giftigt for alle andre. Når der ikke er mere ilt i havbunden, skifter bakterierne over til at bruge sulfat som kilde til ilt. Et biprodukt af den proces er hydrogen-sulfid (svovlbrinte), der ud over at

Et kraftigt iltsvind: En havbund med et tæppe af svovlbakterier – det såkaldte liglagen. Desuden ses en døende søstjerne.

Foto: Peter Bondo.

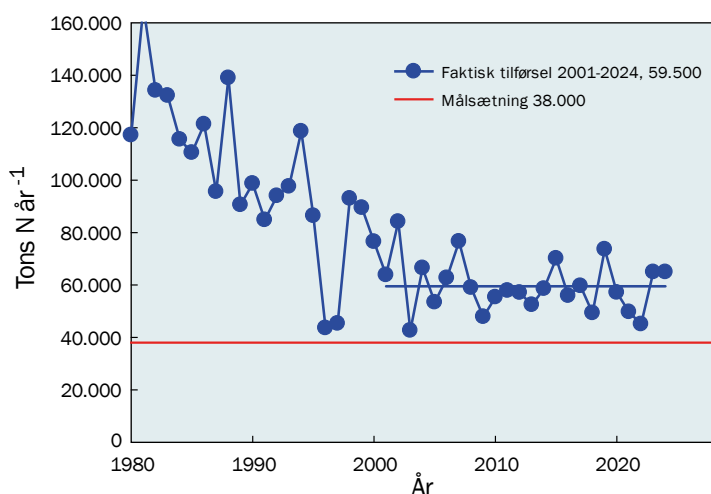




Figuren viser kvælstofoverskuddet i dansk landbrug siden år 1900. Pilene viser stigningen i forhold til år 1900. Efter Kyllingsbæk 2008.

lugte af rådne æg også er giftigt for dyr at leve i. Krebssdyr, bunddyr og fisk enten dør eller må flygte derfra.

Det, der startede med, at landmanden spredte kvælstofholdig gødning på sine marker for at kunne brødføde lidt flere sultne munde, endte således med, at de bærende elementer i havmiljøets økosystem forsvinder. De grønne havplanter og dyrelivet omkring dem bliver erstattet med ildelugtende og iltfattigt mudder, der er frarøvet næsten alle former for liv.



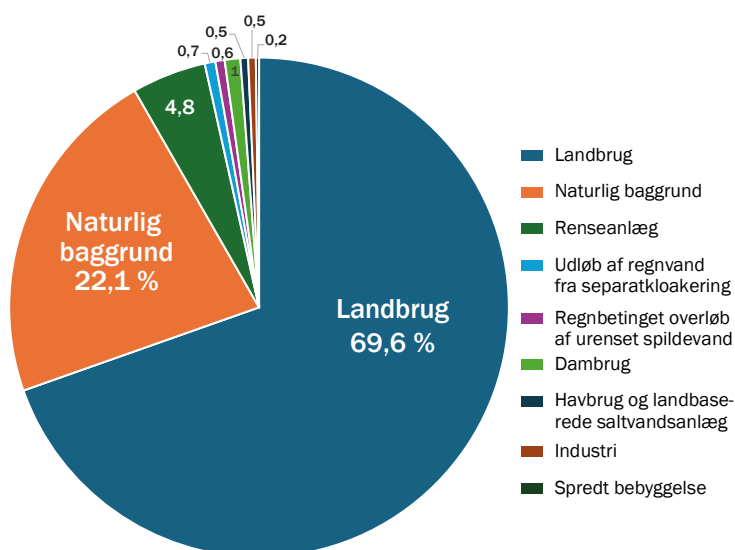
Der ses et betydeligt fald i udledningen af kvælstof siden 1980. Siden 2001 er dog ikke sket noget væsentlig fald i den faktiske tilførsel af N til havmiljøet. Kilde: Stiig Markager.

»Når vi taler om udledning af kvælstof og fosfor, taler vi faktisk ikke om det, som landmændene spreder på markerne, men om det der bliver udvasket til havene. Kvælstof gavner nogle organismer, men effekten er en forskubning af økosystemet, der gør det umuligt for andre at leve i,« forklarer Stiig Markager.

Danmark er særligt hårdt ramt

Forskellige faktorer har betydning for, hvor hårdt havmiljøet bliver ramt af landbrugets udledning af kvælstof og fosfor, og i den sammenhæng har Danmark trukket det formentlig korteste strå i verden.

Stiig Markager fortæller, at specielt to faktorer har betydning for effekten af udledning af kvælstof til vandmiljøet.



Udledning af kvælstof til kystvand opdelt på kilder i procent:

Diffuse kilder: Landbrug 69,6 % og Naturlig baggrund 22,1 %.

Punktkilder i alt 8,3 %: Renseanlæg (4,8), Udløb af regnvand fra separatloakering (0,7), Regnbetinget overløb af urensset spildevand (0,6), Dambrug (1,0), Havbrug og landbase-rede saltvandsanlæg (0,5), Industri (0,5), Spredt bebyggelse (0,2).

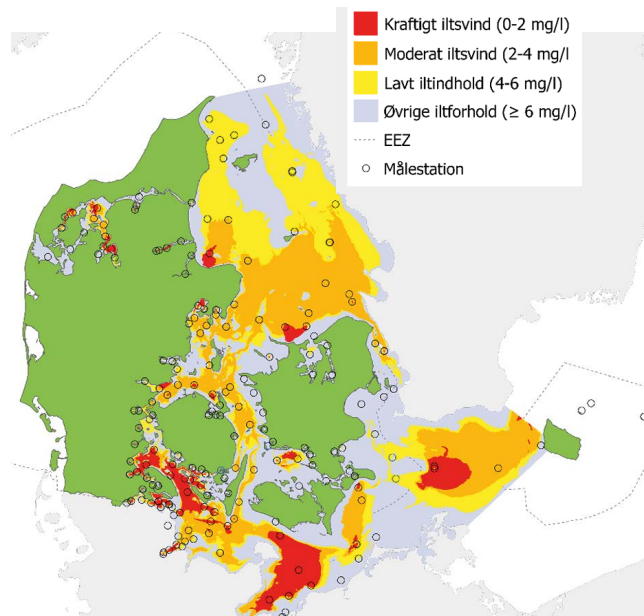
Kilde: Miljø- og Fødevareudvalget 2022-23 (2. samling) MOF Alm.del - Bilag 121. Notat fra Miljøstyrelsen, januar 2023.

For det første har det stor betydning, hvor meget vandet bevæger sig. For eksempel bliver der ledt store mængder kvælstof ud i havet fra landene omkring den engelske kanal, men da vandet bevæger sig hurtigt frem og tilbage gennem kanalen pga. tidevandet, bliver kvælstoffet hurtigt fortyndet til en koncentration, der ikke har den store betydning for havmiljøet. Kommer kvælstoffet først ud i Atlanterhavet, er problemet endnu mindre.

Den luksus har de danske farvande ikke, da mange af de danske fjorde og farvande er så godt som lukkede systemer, der blot bliver ved med at ophobe mere og mere kvælstof. Østersøen kan i sig selv betegnes

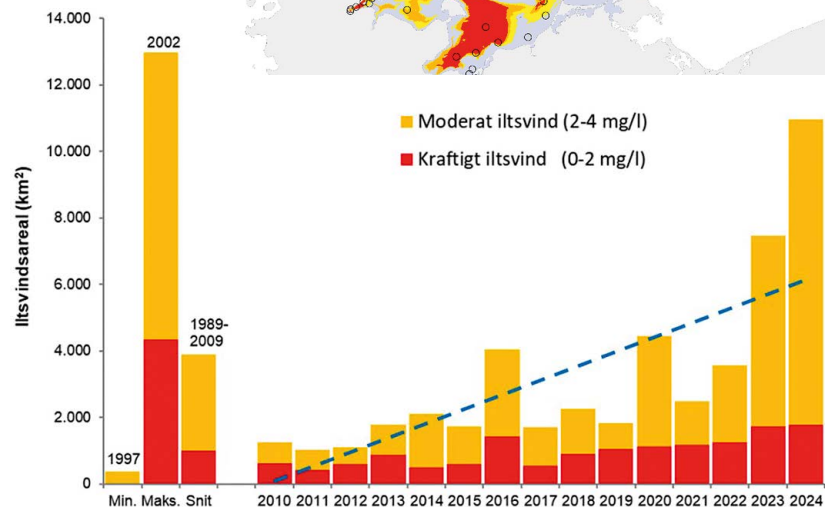
Kort over iltsvind i de indre danske farvande fra september 2024, hvor vi havde største iltsvind i 22 år. Arealudbredelsen af iltforholdene er modelleret ud fra målinger foretaget 6.- 25. september 2024. EEZ er grænsen for Danmarks "eksklusive økonomiske zone".

Kilde: Hansen, J.W. & Rytter, D. 2024. *Iltsvind i danske farvande 29. august – 25. september 2024*. Aarhus Universitet, DCE. Rådgivningsnotat nr. 2024|53.



Modelleret arealudbredelse af moderat (2-4 mg/l) og kraftigt (0-2 mg/l) iltsvind midt i september i de indre danske farvande 2010-2024 samt den største og mindste udbredelse 1989-2024 og den gennemsnitlige udbredelse 1989-2009. Den stiplede linje angiver en statistisk signifikant stigning siden 2010 ($p=0,001$).

Kilde: Hansen, J.W. & Rytter, D. 2024. *Iltsvind i danske farvande 29. august – 25. september 2024*. Aarhus Universitet, DCE. Rådgivningsnotat nr. 2024|53.



som verdens største fjord med en meget langsom udskiftning af vand.

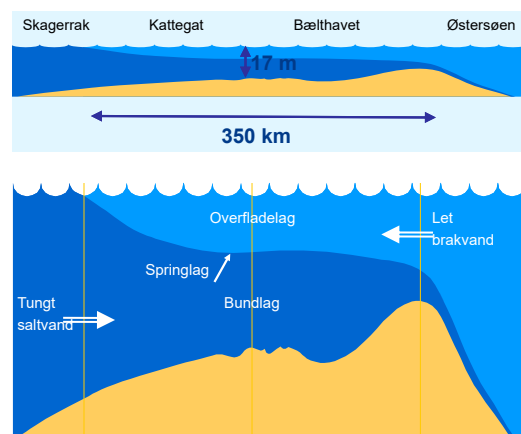
Den anden betydende faktor er vandsøjlen lagdeling. Denne lagdeling skabes af hovedsageligt ferskvand oven på saltvand, men kan også skabes af temperatur. Lagdelingen er især til stede i Østersøen og Kattegat og mindre til stede i Nordsøen.

I det øverste lag af vandsøjlen, hvor der er lys, lever de iltproducerende alger, men når de dør, daler de ned gennem vandsøjlen og bryder på et tidspunkt gennem springlaget, der er grænsen mellem vandsøjlen øvre og nedre lag. Under normale betingelser vil algernes iltproduktion afbalancere iltbehovet fra de bakterier, der skal nedbryde dødt organisk materiale, men når den ilt, der bliver produceret i det øvre lag,

De danske farvande er præget af en lagdeling af vandsøjlen. Denne lagdeling skabes af hovedsageligt ferskvand oven på saltvand, men kan også skabes af forskelle i temperatur. Mange danske fjorde og farvande er så godt som lukkede systemer med en meget langsom udskiftning af især bundlaget.

skal benyttes i det nedre lag, og der eksisterer en barriere mellem lagene, går systemet i hårdknude, og så bliver havbunden fyldt op med et mudder af døde alger.

»Derfor er kvælstofudledning særligt et problem i områder med stabil

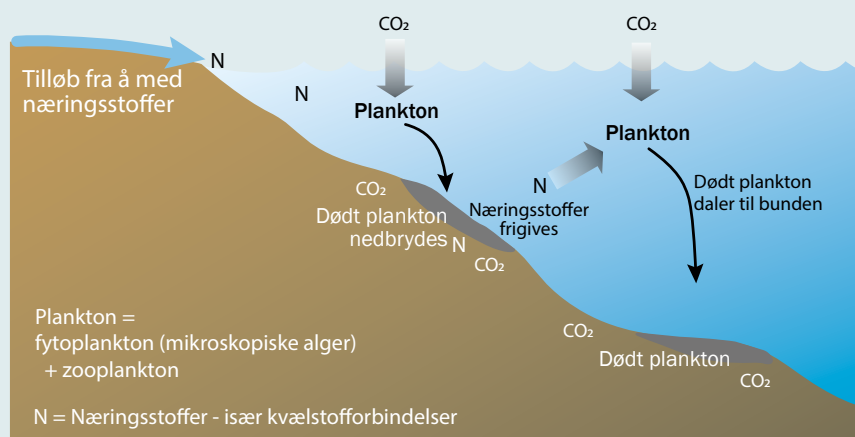


lagdeling, og det er netop, hvad der er i de danske farvande. Samlet set gør lagdelingen og mangel på bevægelse i de danske farvande Danmark til nok det land i verden, hvor kvælstofudledning har den største negative effekt,« siger Stig Markager.

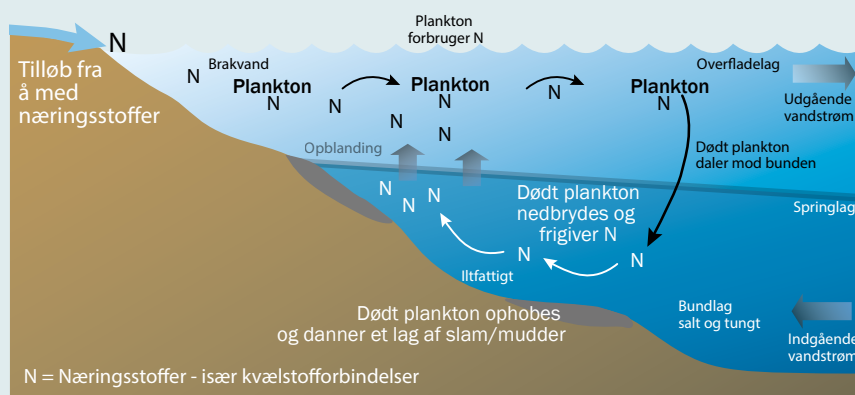
Kvælstof i en fjord: Algevækst, omsætning og opholdstid.

En fjord modtager ferskvand med høje koncentrationer af kvælstof i form af nitrat, som algerne nemt kan optage. I de fleste fjorde løber åen ud inderst i fjorden – tænkt på de Østjyske fjorde. I fjorden optages nitrat i alger, som er små partikler, dvs. nu er kvælstof bundet i en partikel, som synker mod bunden. Her rådner algen, og kvælstoffet frigives igen som ammonium, som hurtigst omdannes til nitrat, og processen starter forfra med ny algevækst. Meget af algen ligger dog tilbage som et slamlag på fjordbunden. Det forbruger ilt, og frigiver hele tiden lidt mere kvælstof, når det nedbrydes af bakterier.

Nederst er de samme processer tegnet ind sammen med vandets bevægelser. Ferskvand er lettere end saltvand, så åvandet ligger i starten som et lag på overfladen. Gradvist blandes det op med saltvandet nedenunder, mens det strømmer ud mod åbent hav. Det trækker en indadgående strøm af tungt saltvand, som typisk er syv gange kraftigere end den mængde åvandet fjorden modtager. Det betyder, at det nitrat, der frigives fra bunden, transporteres ind ad i fjorden, inden det kommer op i lyset igen. Nettoresultatet er at kvælstof



En fjord modtager ferskvand med kvælstof i form af nitrat, som giver grundlag for en stor vækst af plankton - dvs. især alger.



Et springlag i en fjord forlænger opholdstiden af næringsstofferne. Ved bunden er vandet mere salt og iltfattigt. Og i perioder kan al ilten blive brugt op, da nedbrydningen af dødt plankton bruger ilt og vi har et alvorligt iltvind.

er fanget i fjorden, mens åvandet løber igennem, og at det kvælstof,

der tilføres fra åen, bliver i fjorden i årtier. SM

Danmark ligger faktisk under for flere problemstillinger, der gør problematikken omkring kvælstofudledning særlig relevant for os. Foruden de førnævnte faktorer i havene er det et selvstændigt problem, hvad der sker på land. 60 procent af det danske areal er som eksempel opdyrket, og i tillæg ligger mange marker tæt på fjordene. Det vil sige, at der ikke er langt fra, at landmændene spreder gødning på deres marker, til der udvaskes næringsstoffer til vandmiljøet. I andre lande, for eksempel Polen og Tyskland, er der ofte flere hundrede kilometer fra landbrugsområderne til havet, og i den tid, som det tager kvælstof at

blive fragtet med floder og andre vandløb fra markerne til havet, når det at forsvinde op i luften (ved denitrificering og dermed afgivelse af N₂ til atmosfæren).

Hjælpen er på vej

Det store spørgsmål er selvfølgelig, om vi kan gøre noget ved det, eller om vi bare må acceptere, at vi skal vælge mellem fisk til aftensmad eller rug, roer og raps på markerne? Kigger vi tilbage over de seneste 25 år, er der ikke sket en tøddel med udledningen af kvælstof fra landbruget til de danske farvande. For 25 år siden løb udledningen op i omkring 60.000 ton om året, og i dag er tallet lige-

ledes omkring 60.000 ton årligt.

Stiig Markager fortæller, at vi de seneste ti år har ligget under for de politiske beslutninger, der blev truffet med Landbrugspakken i 2016, der gav landbruget lov til at benytte mere kvælstof og øgede kvælstofforbruget med 20 procent. Randzonerne, der skulle sikre, at der ikke blev spredt gødning for tæt på vandløb og kyster blev også nedlagt. Tanken med aftalen var, at effekterne skulle balanceres med nogle kollektive virkemidler til at nedbringe forbruget af kvælstof.

»Det skete bare aldrig, præcis som vi forskere sagde. Effekten af

Landbrugspakken har været den, at havmiljøet fik det dårligere med mere iltsvind, flere alger, og at fiskene i dag er næsten helt forsvundet fra flere danske farvande. At vi i dag næsten ikke har fisk i fjordene, er en direkte effekt af Landbrugspakken. Det var nok Danmarkshistorien største miljømæssige fejltagelse,« siger Stiig Markager.

Når Stiig Markager skal se fremad, er han dog mere fortrøstningsfuld, end når han skuer tilbage i tiden. Årsagen er den grønne trepartsaf-tale, der blev indgået sidste år, og som rummer mange af de forslag, som forskerne allerede i 2016 bragte til bordet, men som ikke blev fulgt. Det drejer sig blandt andet om at omdanne landbrugsjord til naturskove eller til våd natur. Det leder ikke bare til mindre kvælstofudledning, men også til naturområder, der i sig selv kan optage kvælstof. Sigtet med den grønne trepartsaf-tale er at reducere udledningen af kvælstof med 25 procent. Prisen kommer til at lyde på i omegnen af 43 milliarder kroner.

»Det er ikke nok, behovet er omkring 37 procent, men det er en god start, og det er rigtig godt at se, at man nu begynder at tage de rigtige virkemidler i brug. Det viser, at der er politisk vilje til at løse problemet,« siger Stiig Markager.

Gavner mere end bare de danske farvande

Udover at kunne bringe liv tilbage til de danske farvande rummer initiativerne til at reducere kvælstofudledningen også en masse andet potentiale, der på andre måder kommer danskerne til gavn. For det første kan udtagning af landbrugs-områder mindske problemerne med oversvømmelser fra ferskvand som effekt af klimaforandringer. Våd-områder er med andre ord meget bedre til at holde på vandet, så det ikke løber mod byer og giver oversvømmelser i kældre og på veje. På samme måde kan vådområder binde CO₂, og det kan dermed bidrage til at bringe balance i det danske CO₂-regnskab. Kvælstof står i sig

selv for omkring 10 procent af den danske klimagasudledning.

Endelig er der også nogle potentielle sundhedsfordele at hente i at reducere udledningen af kvælstof.

Når man spreder gødning på markerne, stiger koncentrationen af ammonium i luften også. Ammonium kan genere lungerne, og det estimeres, at mellem 200 og 1.000 mennesker hvert år dør en for tidlig død på grund af luftforurening med ammonium fra dansk landbrug. Kvælstofudledning er også problematisk i forhold til grundvandsforurening. Her er der ret sikre estimater af, at nitrat i drikkevand betyder, at 125-130

danskere hvert år dør af tyktarmskræft. Det vil ifølge Stiig Markager give mening, hvis man spekulerer i at udtage landbrugsjord i områder, hvor der bliver dannet grundvand.

»Ved at tage hånd om problemet er der grundlag for nogle positive synergier. Der kommer også til at være en positiv effekt på biodiversiteten på land, så vi kan få fugle som viben og storken tilbage samt skabe flere rekreative områder, der kan danne basis for oplevelsesøkonomi. Ved at reducere kvælstofudledningen for at hjælpe havene får vi en hel masse positive effekter indenfor andre områder,« siger Stiig Markager. ■

Hvad er hovedpunkterne i den grønne trepart?

Aftalerne indebærer en gennemgribende omlægning af Danmarks areal og en række initiativer for at beskytte miljøet og reducere klimabelastningen. De vigtigste elementer er:

- 250.000 hektar ny skov svarende til Lolland, Falster og Bornholms arealer tilsammen.
- Omlægning af 140.000 hektar lavbunds-jorde, som er lavtliggende landbrugsjord, der udleder meget CO₂, når den dyrkes. En del af disse jorder skal i stedet omlægges til natur.
- Mere biodiversitet, bl.a. gennem oprettelsen af 21 nye nationalparker, én bynær nationalpark og forbedring af havmiljøet i Lillebælt og Øresund.
- Styrket indsats for vandmiljøet for at reducere iltsvind i danske fjorde og kystområder.
- CO₂-afgift på husdyrproduktion: Danmark bliver det første land i verden til at indføre denne type afgift.
- Fremsynet, konkurrence- og bæredygtig dansk fødevareproduktion med øget fokus på biosolutions, klimateknologier og plantebaserede fødevarer.
- 43 mia. kroner til Danmarks Grønne Arealfond, som skal finansiere grønne initiativer.
- 23 lokale treparter, hvor kommuner, lodsejere og staten samarbejder om at beskytte naturområder, for eksempel ved at rejse skov eller genskabe våde enge på lavbunds-jord.

Tidslinje:

Forår 2025:	Politisk aftale om markregulering (kvælstofhammeren)
Maj 2025:	Kortmateriale på plads
Nov. 2025:	Kommunerne har vedtaget og indsendt plan for arealer
Forår 2026:	Aftaler indgås med lodsejere
Medio 2026:	Status for aftaler om udtagning/omlægning
2027:	Landbrugsdrift ophører på alle arealer
2025 >	Fysiske ændringer i landskabet

Videre læsning

Stiig Markager: Naturen sætter en grænse – status for diskussionen om landbrug, kvælstof og havmiljø. Aktuell Naturvidenskab 6-2015.

Gunni Ærtebjerg, Jacob Carstensen og Peter Bondo Christensen: Varmere klima giver mere iltsvind. Aktuell Naturvidenskab 3-2007.

Hansen J.W., Lønborg, C. & Høgslund S. (red.) 2024. Marine områder 2023. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 201 s. - Videnskabelig rapport fra DCE nr. 632.