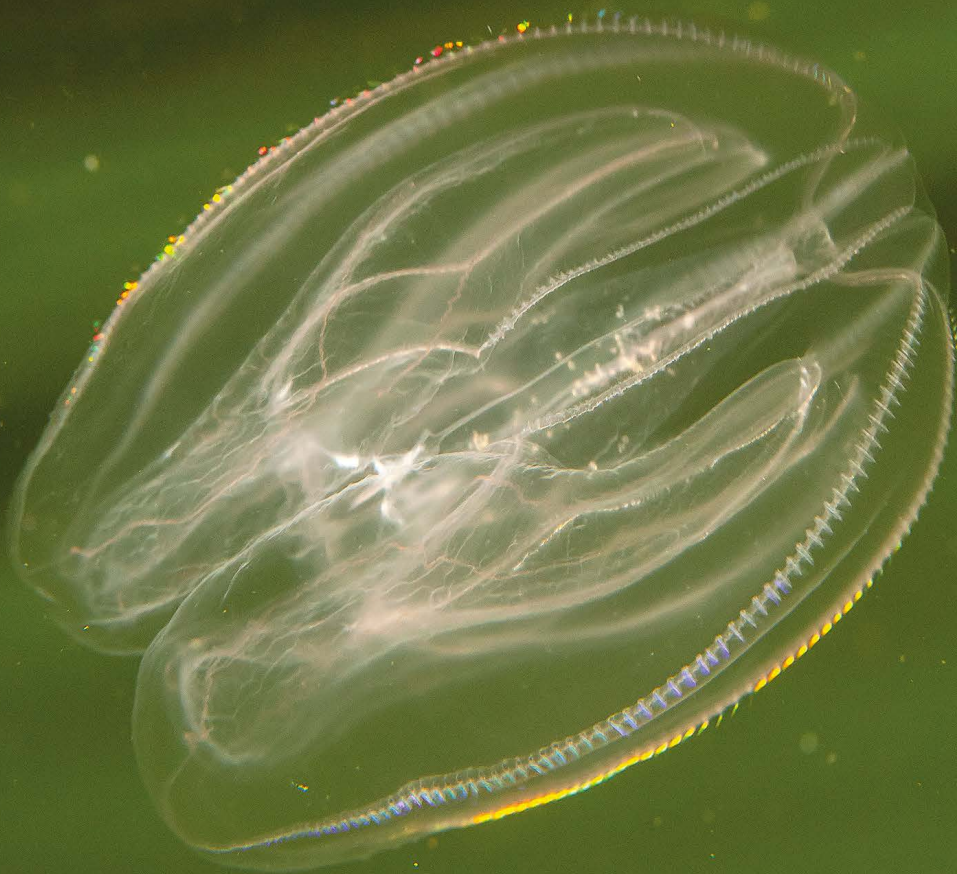


Den invasive amerikanske ribbegøple (*Mnemiopsis leidyi*) med tilnavnet *dræbergøple*. Foto: Magnus Heide Andreasen.

# ILTSVIND ER GODT – for gopler



## Om forskerne

Magnus Heide Andreasen er ph.d.-studerende på DTU Aqua i Lyngby, hvor han undersøger effekten af iltsvind og af ribbegøplen på de danske kystøkosystemer. E-mail: mhean@aqu.dtu.dk

Peter Rask Møller er lektor ved Københavns Universitet og Statens Naturhistoriske Museum, hvor han er kurator for fiske- og pattedyrsamlingerne og forsker i fiskebiologi og monitoring.

Henrik Carl er forskningsmedarbejder på Statens Naturhistoriske Museum og ansvarlig for Fiskeatlasset.

Torkel Gissel Nielsen er professor i havbiologi på DTU Aqua i Lyngby og forsker blandt andet i effekten af global opvarmning og havforurening på planktonføddekædens sammensætning og funktion.

Ikke alle dyr lider, når overfiskeri og iltsvind hærger de danske farvande: Hundestejler og den invasive amerikanske ribbegøple (*dræbergøple*) klarer sig faktisk fint. Især ribbegøplen trives ved lave ilt-niveauer, og det kan være med til at ændre dynamikken i vores marine økosystemer.

**E**ngang svajede halvanden meter højt ålegræs under havets blanke overflade. I dag er havet udfordret fra så mange sider, at nogle ligefrem finder det passende at bisætte Vejle Fjord. Det tydeligste symptom er iltsvind, hvis udbredelse og hyppighed stiger både i Danmark og globalt. Vi hører jævnligt, at tilførslen af næringsstoffer er års-

gen, og at fiskedød er konsekvensen. Men imellem disse to punkter af årsag og virkning, findes et kompliceret netværk af processer. Med afsæt i ny forskning vil vi her fokusere på nogle af de mindre omtalte processer, som potentielt fastholder og forværrer tilstanden i de danske havområder. Det gør vi med udgangspunkt i to organismer, der biologisk set er det, man kalder

opportunisten, nemlig den invasive amerikanske ribbegøple (*Mnemiopsis leidyi*) og den trepiggede hundestejle (*Gasterosteus aculeatus*).

## En ubuden, og sulten, gæst

Danmarks indre farvande blev i 2006 en art rigere med ankomsten af den amerikanske ribbegøple med det mere dramatiske tilnavn *dræbergøple*. Oprindeligt stammer



goplen fra Nordamerika, men den er også kendt fra Det Kaspiske Hav og Sortehavet, hvor den sandsynligvis er blevet bragt til via fragtskibes ballastvand. På samme vis fandt den formentlig også vej til Danmark. Ribbegoplen æder vandløpper og har dermed placeret sig i det danske havs økosystem lige der, hvor det gør allermest ondt. Dér, hvor den vitale energioverførsel fra planktonalger til fisk bør foregå. I et sundt økosystem vil de talrige vandløpper holde planktonalgerne nede gennem græsning og videreføre deres biomasse til småfisk. I et forstyrret økosystem med for få vandløpper i forhold til planktonalger, vil en større del af planktonalgerne bundfældes, da de ikke længere græsses af vandløpper. I et miljø, hvor planteplanktonet i forvejen er begunstiget af vores udledning af næringsstoffer, er konsekvensen en yderligere opblomstring af planktonalger, mørke og iltsvind.

### Spotlight på hundestejler og gopler

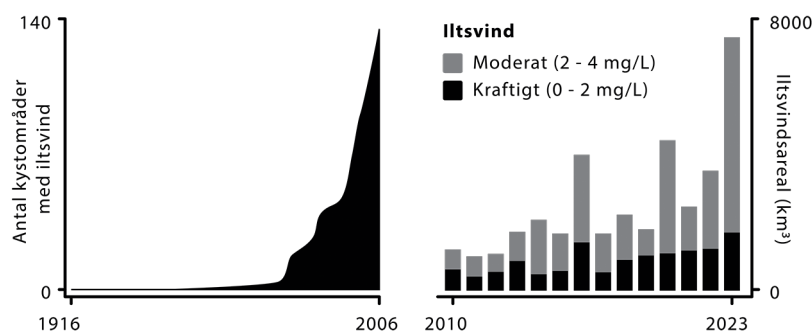
Fødenettet i havet er komplekst. Forstår man, hvordan det fungerer, kan man til gengæld lettere og mere effektivt forvalte det ved at sætte ind dér, hvor det har størst effekt. Vi har undersøgt, hvordan ribbegoplerne, hundestejlerne og vandløpperne trives og interagerer i de næringsstofbelastede danske havområder.

Gopler og hundestejler er gode bioindikatorer. Begge trives under de nuværende forhold, og så deler de den altafgørende fødekilde: vandløpper. Deres respektive succes med at skaffe sig føde vil have stor betydning for energioverførslen op gennem fødekæden. Det skyldes, at vi hidtil ikke har kendt til ribbegopleædende fisk i Danmark. Ribbegoplens eneste kendte fjende har i Danmark været andre gopler. Det har derfor været den gængse opfattelse, at energien, som goplerne optager, er "spildt".

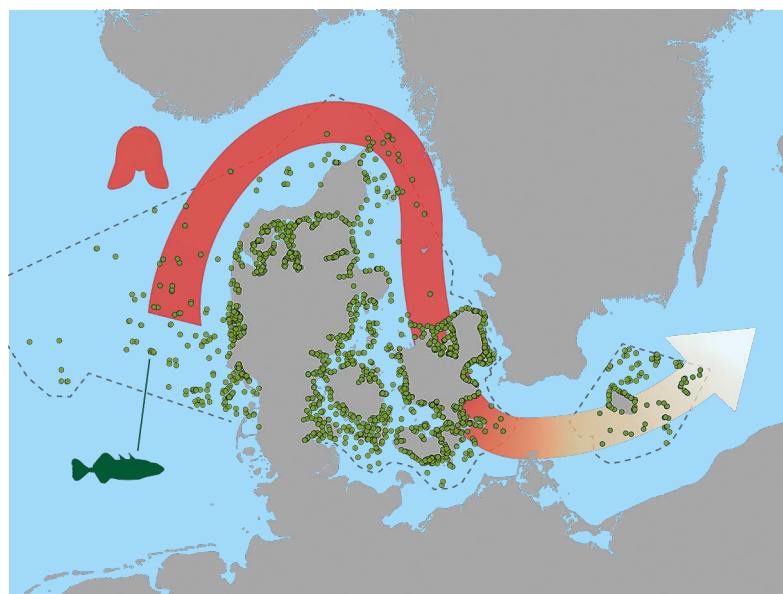
Til sammenligning understøtter hundestejlen et større fødenet ved at blive ædt af større fisk som torsk



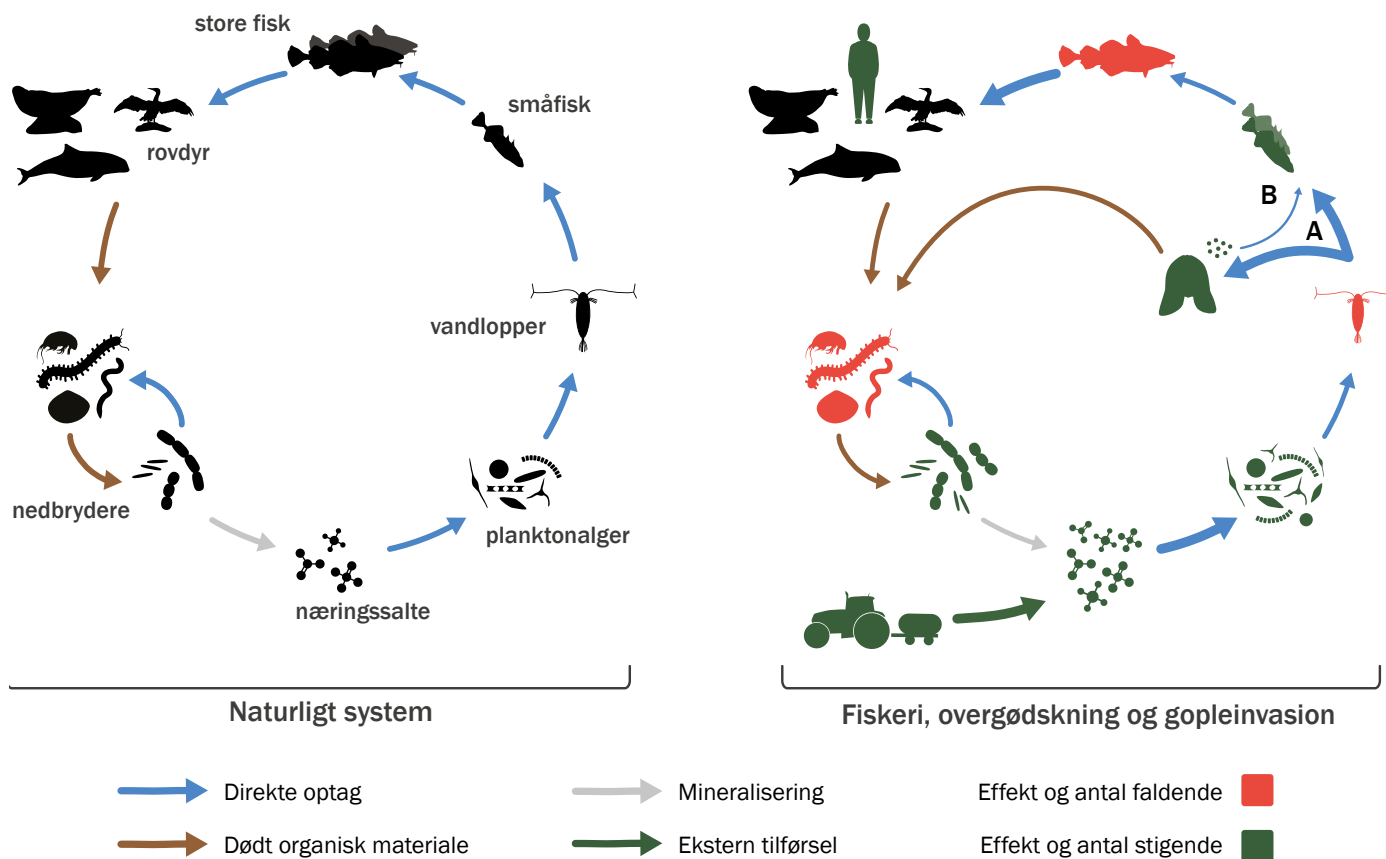
Forfatterne, fra venstre: Magnus Heide Andreasen, Torkel Gissel Nielsen, Henrik Carl og Peter Rask Møller. Foto: Markus Strange



Global udvikling af kystområder, som oplever iltsvind (venstre) og udviklingen af iltsvindsarealet i Danmark (højre). Tilpasset med tilladelser fra Vaquer-Sunyer & Duarte (2008) og forfatterne bag Aarhus Universitets iltsvindrapport (September 2023), Jens Würigler Hansen og David Rytter.



Udbredelsen af trepigget hundestejle i Danmark (fra Fiskeatlasset, www.fiskeatlas.ku.dk) og udbredelse af den amerikanske ribbegople inden for Danmarks havområde (stiplet linje). Ribbegoplen er observeret alle steder langs Danmarks kyster, men dens tæthed falder mod øst, hvorefter den helt forsvinder lidt øst for Bornholm, hvor Østersøens saltniveau bliver for lavt.



Konceptuelt overblik over et naturligt system (til venstre) og et system påvirket af fiskeri, overgødskning og den invasive ribbegøple, *Mnemiopsis leidyi* (til højre). Dødt organisk materiale produceres fra samtlige led i fødekæden og omsættes af nedbrydere (bakterier samt bundlevende orme, muslinger og krebsdyr). Vi har blandt andet undersøgt, hvem der spiser vandlopperne under normale forhold og under iltsvind (A), samt om hundestejlen æder ribbegøplens larver (B).

og laks, og af fugle som skarv. Vi undersøgte derfor de to arters respektive succes med udgangspunkt i de forudsætninger, som vi forventede kunne være afgørende i konkurrencen:

- Udbredelsen af hundestejlen og ribbegøplen
- Deres fjender og respektive byttefangst under forskellige ilt-niveauer
- Deres adfærdsmæssige og fysiologiske respons ved lave ilt-niveauer

Mængden af småfisk og gopler er øget i områder, hvor de større fisk, for eksempel torsk, er væk, og hvor havet er næringsbelastet; for eksempel i Østersøen. Man har desværre ikke monitoreret goplernes antal, og det er derfor vanskeligt at vurdere, hvorvidt de rent faktisk er i fremgang. Vi kan dog doku-

mentere, at de forekommer i hele den danske del af Østersøen og i nogle områder i så høje tætheder, at de potentielt tømmer vandet for vandlopper på bare én dag. Mens det lave saltniveau begrænser deres udbredelse øst for Bornholm, lader selv ekstremt lave ilt-niveauer ikke til at påvirke dem. I den svenske Østersø tyder det på, at hundestejler er i kraftig fremgang, og omkring Bornholm finder fiskerne nu stort set kun hundestejler i laksemaver, som før var fulde af sild og brislinger.

#### Gopler klarer sig fint under iltsvind

For at undersøge, om ribbegøplen ædes af små fisk, tilbød vi en række danske fisk ribbegøpler i forskellige størrelser; fra larvestadiet på en halv millimeter til små voksne på halvanden centimeter. Vi tilbød goplerne til sortmundet

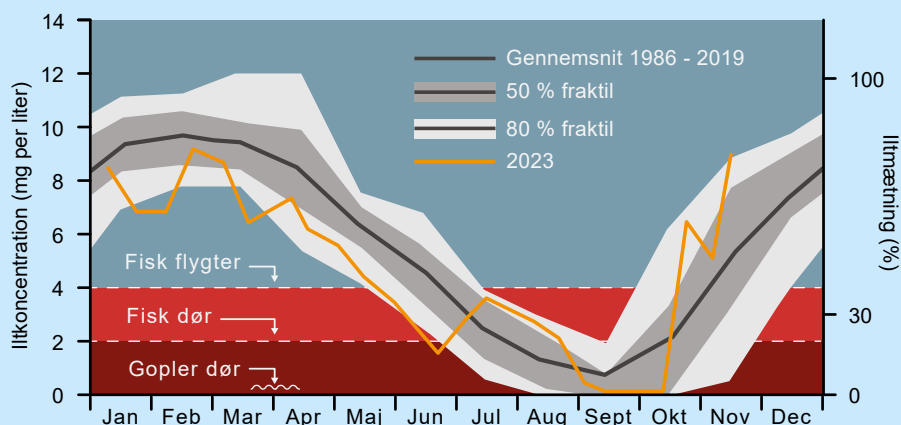
kutling, toplettet kutling, sandkutling og trepigget hundestejle. Alle de undersøgte arter angreb ribbegøplen, særligt de mindre, men kun én art åd dem: hundestejlen. Vi lavede derfor et studie af dens prædation på gøplen – både i iltmættet vand og i vand med en iltkoncentration, som kendetegner moderat iltsvind (30 % eller 2,8 mg O<sub>2</sub> per liter). Fordi gøplens larver sjældent forekommer alene, undersøgte vi også hundestejlens prædation på vandlopper, som er et fælles bytte for både gopler og hundestejler. Vi fandt, at hundestejlen åd cirka fire gange så mange vandlopper som goplelarver, og at selv mildt iltsvind forårsagede markante fald i prædationen på begge typer føde. Det er derfor usandsynligt, at hundestejlen kan regulere bestanden af ribbegøplen – i særdeleshed under iltsvind, og når hundestejlen har adgang til vandlopper.

## Ilt i havet

For omtrent to milliarder år siden havde blågrønalger sendt så meget ilt ud i verdenshavene, at grundlaget var skabt for, at iltkrævende organismer kunne udvikles. Efter nogle drastiske udsving fandt iltkoncentrationen et niveau, som Jordens senere liv har kunnet tilpasse sig – både over og under vandet.

Mennesker, dyr og planter kan tolerere små udsving, men trives bedst under en atmosfærisk iltkoncentration på de nuværende 20,95 %. Under vandoverfladen er alting anderledes. Lyset, lydende, trykket og iltten. Her kan kun en vis mængde ilt opløses, og fuldt iltmættet vand siges at have en iltkoncentration på 100 %. Havets ilt kommer både direkte fra planktonalger og gennem vandoverfladen fra ilt i atmosfæren. Omtrent halvdelen af Jordens ilt produceres af planktonalger.

I vandet svarer en 100 % mætning til 8,1 mg ilt per liter vand med en salinitet på 20 psu og en tempe-



Udsving i bundvandets iltkoncentration i løbet af et år med anvisninger af generelle værdier for, hvornår fisk og gopler enten flygter eller dør. Figuren er baseret på Aarhus Universitets iltsvindrapport: Iltsvind i danske farvande (27. oktober – 22. november 2023) af Jens Würglér Hansen og David Rytter fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. Data er fra Miljøstyrelsens monitoring af ydre Flensborg Fjord.

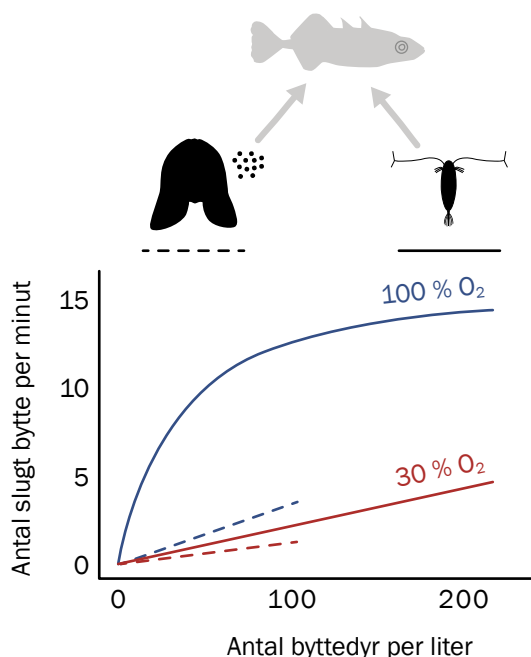
ratur på 20 °C. Opløseligheden er lavere ved højere temperaturer. Det resulterer i, at den nuværende opvarmning af havene vil forårsage en yderligere reduktion af iltniveauet. I den kølige maj måned er overfladevandet i det danske hav omkring 12 °C, mens det på en sommerdag

i august er cirka 20 °C. Iltkoncentrationen i de to måneder er maksimalt henholdsvis 9,3 og 8,1 mg O<sub>2</sub> per liter. Forskellen forårsager ingen katastrofe i de høje koncentrationer, men når iltsvindsgrænsen nærmer sig, kan helt små udsving være fatale.

De voksne goplers prædation på vandlopperne er uændret ned til i hvert fald 1,5 mg O<sub>2</sub> per liter (16 %), mens fisk generelt er mere følsomme. Men hvor langt skal iltkoncentrationen ned, før hundestejlen stikker af og goplens afkom dør? Med et specialbygget akvarie kunne vi give hundestejlerne valget mellem to vandmasser med forskellige ilt niveauer; den ene mættet og den anden med langsomt faldende i iltkoncentration. Goplerne udsatte vi for endnu lavere iltkoncentrationer og undersøgte, hvor mange af deres æg, som klækkede under forskellige iltforhold.

Vi fandt, at hundestejlen stak af allerede ved omkring 40 % O<sub>2</sub>, men at mængden af goplernes æg, som klækkede, var upåvirket helt ned til 1 mg O<sub>2</sub> per liter (10 %). Havområder med en iltkoncentration på mellem 15 og 40 % O<sub>2</sub> vil derfor, hovedsageligt rumme gopler, som uden problemer kan æde og reproducere sig. Deres føde, vandlopperne, vil stadig være til stede, da de først flygter eller dør ved endnu lavere iltkoncentrationer. Oveni at goplen nu ikke skal konkurrere med fiskene, bliver vandlopperne også sløvere og lettere at fange ved de lave iltkoncentrationer.

I havområder med iltsvind lader goplen altså til at



Hundestejlens prædation på vandlopper (fuldt optrukket linje) og den invasive ribbegoplers larver (stiplet linje) i iltmættet vand (100 % ilt; blå) og under iltsvind (30 % ilt, rød). Skitse på baggrund af data fra Andreasen et al. in prep.



## Danmarks ribbegople, småfisk og vandlopper

Den invasive gople er en ribbegople, som, trods lighederne, ikke er nært beslægtet med vandmænd eller brandmænd. Vi har tre hjemmehørende ribbegoplearter: stikkelsbærgople (*Pleurobranchia pileus*), tolapet ribbegople (*Bolinopsis infundibulum*) og stor melongople (*Beroe cucumis*). De hyppigst observerede småfisk er trepigget hundestejle og topletet kutling (*Pomatoschistus flavescens*), som primært findes langs kysten. Sild og brisling er væsentlig større og findes også længere fra kysten, men de deler i en længere periode af deres liv føde med hundestejler, topletet kutling og goplerne og ædes også af rovfiskene.

Vandlopper er en artsrig gruppe med stor diversitet i form og livshistorie. Nøgleslægter i danske farvande inkluderer *Acartia*, *Pseudocalanus* og *Oithona*. Selvom der findes utallige andre dyreplankton, som bidrager til at videreføre energi fra planktonalger til småfisk, står vandlopperne oftest for langt størstedelen af omsætningen.

## Næringsalte og iltsvind

Mennesket har i flere tusinde år dyrket jorden og gødsket den med naturens egen gødning; ekskrementer og kompost. I 1908 lykkedes det Fritz Haber at fremstille ammoniak syntetisk, og efter Anden Verdenskrig tog landbruget det i brug som gødning. Sammen med spildevand fra byerne betød den større mængde næringsstoffer på markerne, at et større overskud af næringsstoffer endte ude i havet. Den ekstra næring satte gang i væksten af planktonalger, og det betød en øget tilførsel af døde planktonalger til bunden. Her bliver en del ædt af bunddyr, der filtrerer vandet eller æder det næringsrige sediment, mens bakterier efterfølgende nedbryder den resterende biomasse. Nedbrydningen foregår under forbrug af ilt. En havbund, som modtager en stor mængde planktonalger, vil derfor hurtigt opbruge alt ilt og opleve iltsvind.

Selvom tilførslen af næringsalte er faldet siden 1980'erne, ses kun i nogle områder tegn på forbedring af iltforholdene ved bunden. Det er sandsynligt, at den positive effekt forsinkes eller mindskes som følge af andre faktorer, som indirekte forbedrer planktonalgernes vilkår. For eksempel medfører global opvarmning en øget bakteriel omsætning og dermed et forhøjet iltforbrug. Desuden kan de biologiske samspil være blevet forstyrret på en måde, så det giver sig udslag i en forsinket eller mindsket effekt. Fjerner man for eksempel de store fisk, har deres bytte, de mindre fisk, som kutlinger og hundestejler, kronede dage. Det medfører en kaskadeeffekt ned gennem fødekæden. Prædationstrykket på de små fisks bytte, vandlopperne, øges kraftigt. Herved bliver der færre vandlopper til at æde planktonalger, som derfor blomstrer op, bundfældes og ultimativt medfører iltsvind.

## Oplev dræbergoplens lys

Møder man en amerikansk ribbegople – en dræbergople – på en solskinsdag, vil man helt sikkert bemærke dens farvestrålende streger, eller *ribber*, som løber ned langs goplens sider. Ribberne består af en serie små kitinstrukturer, som, på samme måde som undersiden af en CD, bryder lyset og fremkalder en hel palet af farver. Farvespillet kræver en ekstern lyskilde, så det observeres bedst på en solskinsdag med solen i ryggen eller ved hjælp af en lommelygte og med en jævn mørk baggrund. Tilsvarende bemærkelsesværdigt er det, at goplen i lighed med sankthansorm, morild eller ildfluer også selv lyser, hvilket kaldes bioluminescens. Det kræver komplet mørke – og tålmodighed – at opleve det blå lys, som goplen udsender et par sekunder ad gangen. Men det er det hele værd!



være den store vinder.

Efteråret 2023 bød på omfattende iltsvind i Danmark. Et område på næsten 6.000 km<sup>2</sup> havde iltiveauer mellem 20 og 40 % O<sub>2</sub>. Til sammenligning er Sjællands areal 7.000 km<sup>2</sup>. Lav iltkoncentration i så store dele af Danmarks hav kan, som vi har vist her, have omfattende konsekvenser for dynamikken i økosystemerne.

## Vejen til et bedre havmiljø

Iltsvind er et symptom på et forstyrret havmiljø. At gøre noget ved problemerne kræver politisk handling, som det forsøges med den nye *Aftale om et grønt Danmark*, men det kan desværre være vanskeligt på grund af de mange modstridende interesser. Vi har i over 40 år vidst, hvad der skal til: Tilførslen af næringsalte skal reduceres. Tilførslen af næringsalte til havet faldt markant som følge af politiske tiltag i slut 80'erne og 90'erne, men har i omtrent 20 år været uændret. Alligevel er udbredelsen af iltsvind steget i samme periode. Selvom den synlige effekt af de lavere næringsstoffertilførsler måske først viser sig senere, tyder noget på, at flere mekanismer er på spil.

Vores resultater viser, at den invasive ribbegople, sammen med den voksende bestand af småfisk, kan bidrage til denne fortsatte negative udvikling af havmiljøet. Både ribbegoplen og småfiskene er udsat for begrænset prædation og æder så de vandlopper, som i et sundt miljø holder planktonalger nede. Goplerne er endda upåvirkede af iltsvind. Det er derfor ønskeligt, men umuligt, at skaffe sig af med ribbegoplen. På nuværende tidspunkt er vores bedste mulighed således at begrænse ribbegoplen indirekte ved at forbedre lys- og iltforhold for dens konkurrenter og fjender: fiskene. Vejen dertil er kraftige reduktioner i udledningen af næringsalte samt et lavere fiskeritryk.

Alternativet kan blive et irreversibelt kollaps: et mørkere hav med færre store fisk og endnu flere gopler. ■