

NATURVIDENSKAB OG TEKNOLOGI
DIREKTE FRA FORSKNINGSVERDENEN

AKTUEL
natur VIDENSKAB

STATISTIK OG FREMTIDENS KLIMA

Naturen kan blive vildere end vi drømmer om
Smitsomme svampe truer den globale sundhed
Hvordan smitter forkølelsesvirus?

Fosfor: Fra sø til mark

NR 5 - 2024 NOVEMBER 50 KR

Små øl giver mindre alkoholforbrug

Den engelske måleenhed *pint* angiver et rumfang svarende til 568 milliliter. Pints anvendes efterhånden kun til drikkevarer – især øl, hvor det “at få sig en pint” mere eller mindre er synonymt med at drikke en øl. Men en pint er faktisk en relativt stor mængde øl for en standardservering. Engelske forskere har nu i et forsøg over 4 uger undersøgt, om det at erstatte en pint øl med tydeligt markerede versioner på 2/3 – dvs. 379 milliliter – har betydning for alkoholindtaget. Det viste sig, at gæsterne på de 13 forskellige serveringssteder (pubber, barer og restauranter), der indgik i undersøgelsen, i perioden drak næsten 10 % mindre øl om dagen sammenlignet med, når der blev serveret normale pints. Salget af vin steg dog, men ikke nok til at modsvare faldet i ølsalg. Med andre ord tyder studiet på, at det at reducere størrelsen på en ølservering kan reducere alkoholforbrug.



Foto: Colourbox

Kilde: *Nature/ PLoS Med* 21(9): e1004442

Carbon med nye bindinger

Den almindelige skolelærdom fortæller os, at i en kovalent binding deler to atomer et eller flere par af elektroner. Men faktisk er der i visse atomer (for eksempel fosfor) blevet observeret kovalente bindinger, hvor to atomer kun deler en enkelt elektron. Og nu har japanske forskere også observeret denne usædvanlige enkelt-elektron kovalente binding mellem to carbonatomer. Det vækker særlig interesse, da carbon er en basal byggeblok i liv, ligesom det er en nøglekomponent i en perlerække af industrielle kemikalier. Forskerne håber, at deres opdagelse kan hjælpe kemikerne med bedre at forstå den basale natur af kemiske bindinger.



Kilde: *Nature*, doi.org/10.1038/s41586-024-07965-1

Quizen:

Hvad forstår man ved eksperimentel evolution?

1. Når der over kort tid udvikles et stort antal nye arter ud fra en stamform.
2. At forskere studerer evolutionære processer i laboratoriet under kontrollerede betingelser.
3. At man undersøger teorier, der er et alternativ til evolutionsteorien.

Læs svaret i artiklen om smitsomme svampe side 8

Spot på virus i jorden

De øverste 30 cm af jordbunden indeholder et astronomisk antal virus. I en nylig artikel i *Nature Microbiology* sætter et internationalt forskerhold ledet af forskere fra Aarhus Universitet spot på det faktum, at man ved meget lidt om alle disse virus' samspil med jordbundsorganismerne. Da virus kan inficere alle typer organismer, må de have kolossal indflydelse på hele dynamikken i fødenettet i jordbunden. Forskerne peger i deres artikel derfor på en række indsatsområder, der bør have større bevågenhed i fremtidens forskning, så man får lukket dette hul i vores viden.



Der er andet liv end regnorme i jorden. Foto: Colourbox

Kilde: *Aarhus Universitet/Nat. Microbiol.* 9, 1918–1928 (2024)



Foto: Randy Robbins ©/Wildlife Photographer of the Year

Naturfotos på udstilling

Fra den 22. november kan man på Statens Naturhistoriske Museum i København se smukke naturfotos i udstillingen *Wildlife Photographer of the Year*. Alle billederne på udstillingen er blandt de 100 finalister i den internationale konkurrence om at blive kåret som årets naturfotograf. Vinderen afsløres tirsdag den 8. oktober (efter dette nummers deadline) ved et stort gallashow på Natural History Museum i London. Det viste billede deltager i kategorien “Naturens kunstværker”.

Den farligste papirtykkelse

Med en kombination af eksperimenter og teoretisk arbejde har Sif Fink Arnbjerg-Nielsen og kolleger ved DTU undersøgt sammenhængen mellem papirtykkelse og dets evne til at kunne skære igennem huden på et menneske. Ved at skære med forskellige typer papir i et stykke gelatine (hvis mekaniske egenskaber minder om menneskelig hud) nåede forskerne frem til, at papir med en tykkelse på mindre end 50 mikrometer har svært ved at skære igennem, fordi det bøjer let, mens papir tykkere end 100 mikrometer tilsvarende har dårlige skæreegenskaber, fordi dets snit fordeles over et relativt stort område. En model baseret på disse observationer nåede frem til, at den farligste papirtykkelse er 65 mikrometer.



Foto: Colourbox

Kilde: *Nature/ Phys. Rev. E.* 110, 025003 (2024)

indhold



Statistik giver et bud på fremtidens klima

Det vakte opsigt, da danske forskere i sommeren 2023 annoncerede, at en klimatisk set meget vigtig havstrøm i Atlanterhavet potentielt kan gå i stå i en nær fremtid.

8



Smitsomme svampe truer den globale sundhed

Forsker ønsker at afsløre detaljerne i, hvad der sker, når sygdomsfremkaldende svampe skifter fra at smitte én art til at smitte en anden.

28



Fosfor skal væk fra vores søer og ud på markerne

I et fuldskala-eksperiment i Ormstrup Sø tester forskere en metode til at fjerne det fosforrige sediment fra bunden af en sø og bruge det som gødning på marker.

18



Naturen kan blive vildere, end vi drømmer om

Skal vi væk fra den triste placering som det naturfattigste land i verden, kræver det både plads, flere store planteædere og en lovgivning, der ikke arbejder mod naturen.

34

FORSKNING OG NYHEDER

- 4 KORT NYT
- 8 Statistik giver et bud på fremtidens klima
- 14 Hvordan smitter forkølelsesvirus?
- 18 Fosfor skal væk fra vores søer og ud på markerne
- 22 Sundhedstjek af søer, vandløb og fjorde via deres metabolisme
- 26 Robotteknologi og miljø i undervisningen
- 28 Smitsomme svampe truer den globale sundhed
- 34 Naturen kan blive vildere, end vi drømmer om
- 38 BØGER & SERVICE
- 40 BAGSIDEN:
Det gode kridts hemmeligheder

AKTUEL NATURVIDENSKAB

Udgiver

Aarhus Universitet, Faculty of Natural Sciences og Faculty of Technical Sciences, i samarbejde med:

- Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- Roskilde Universitet

Ansvarshavende

Poul Nissen, prodekan, Faculty of Natural Sciences, Aarhus Universitet.

Redaktion

Redaktører Carsten Rabæk Kjaer og Jørgen Dahlggaard
Tlf.: 3036 0660 / 3036 0662 / 8715 2094
E-post: red@aktuelnaturvidenskab.dk
Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk



DET NATURVIDENSKABELIGE
FAKULTET



SPONSOR-
ABONNENTER

Jod fra Arktis påvirker atmosfæren

Når køerne i staldene bøvser, udleder de metan (CH_4). Det samme sker, når vi bruger naturgas – og det er et problem, for metan er en drivhusgas, som medvirker til, at temperaturen på Jorden stiger. Faktisk holder metan på 80 procent mere varmeenergi, end CO_2 gør. Heldigvis bliver metan hurtigt nedbrudt i atmosfæren. Molekylerne lever i cirka 8 år, før kemiske processer i luften uskadeliggør dem.

Men måske skal vi justere det tal. I hvert fald i Europa og Nordamerika. For ny forskning viser, at klimamodellerne har overestimeret, hvor meget ozon der er i luften. Ozon er afgørende for de processer, der nedbryder metan. Det fortæller professor Henrik Skov fra Institut for Miljøvidenskab på Aarhus Universitet. Han er en af forskerne bag de nye resultater.

»Vi har opdaget, at niveauet af ozon er lavere over Europa og Nordamerika, end vi tidligere troede. Ozon spiller en vigtig rolle i forhold



Foto: Shutterstock

til at nedbryde metan. Vi er derfor nødt til at lave vores atmosfæriske modeller om,« siger han.

Det er målinger fra universitetets forskningsstation Villum Research Station i det allernordligste Grønland, som har vist, at modellerne er skæve.

»Vi har opdaget, at niveauet af ozon er styret af en række andre faktorer. En af dem er jod. Jo mere jod, der er i luften, desto lavere er niveauet af ozon. Jod nedbryder nemlig ozon,« siger Henrik Skov.

I takt med, at isens sammensætning i Arktis ændrer sig, kommer der mere jod ud i atmosfæren – og det får ozon-niveauet til at falde.

»Den flerårige is forsvinder, og det betyder, at der frigives mere jod. Og det påvirker altså ozon-niveauet,« siger Henrik Skov.

Indtil nu troede forskerne, at jod fra den smeltede is kun påvirkede ozon-niveauet i Arktis. Men de nye resultater viser et helt andet billede, forklarer Henrik Skov:

»Niveauet af ozon er ikke stabilt hen over et år. I Arktis er det højest om vinteren. Når forårssolen kommer, og isen begynder at smelte, falder det. Det fald ser vi ikke blot i det arktiske område. Helt ned i det kontinentale Europa kan vi se en påvirkning af ozon-niveauet. Ikke lige så voldsomt som over Grønland, men alligevel med adskillige procent.«

*Jeppé Kyhne Knudsen, Aarhus Universitet
Vid. artikel: doi.org/10.1073/pnas.2401975121*

Forsker vil løse gåden om skrumpede dyr

Hvad har en loppefrø og en smartphone tilfælles? De har begge skrumpet deres indmad til det ekstreme, så de samme organer og komponenter set i langt større dyr – og computere – kan være i deres små "kroppe". At skrumpet ting for at innovere dem, kender vi især fra tech-industrien. Men få tænker sikkert over, at evnen til at skrumpet i størrelse, men stadig have de samme velfungerende organer, sanser og opførsel som dyr, der er hundrede gange større, også ses overalt i naturen.

Loppefrøen, glas-pygmæfisk og humlebiflaggermusen er blot nogle få eksempler på hvirveldyr, der gennem evolutionen er skrumpet i størrelse, uden at miste nogen af deres basale fysiske egenskaber. Men hvad er det, der præcist sker inde i et hvirveldyr – helt ned på genniveau, når det evolutionært skrumpet i størrelse? Og er der egentligt



Foto: Andolalao Rakotoarison

noget, der stopper de mindste hvirveldyr fra at blive endnu mindre?

Det er nogle af de spørgsmål som adjunkt Mark D. Scherz fra Statens Naturhistoriske Museum over de næste fem år vil undersøge med en bevilling på 11 millioner kroner fra det Europæiske Forskningsråd ERC.

»Det er ofte de store dyr, der fanger vores opmærksomhed. Men jeg synes, det er mindst lige så fascinerende, hvordan naturen er lykkedes med at skrumpet størstedelen af de samme vitale organer og proppe dem ind i

en lille frø krop på under en centimeter. Og i dag ved vi faktisk forbløffende lidt om hvordan det sker, og det vil jeg gerne ændre på,« siger Mark D. Scherz.

Siden tech-industriens fødsel har den gradvist skrumpet de små transistorer, der sidder i vores telefoner og computere, så der er plads til flere af dem og ydeevnen bliver højere. På samme vis mener videnskaben, at ekstrem formindskelse i kropsstørrelse ofte er forbundet med innovation og evolution i naturen, dog uden at forstå det til fulde. Det nye forskningsprojekt hedder GEMINI (Genomics of Miniaturisation in Vertebrates) og har som hovedformål at afdække, netop hvad der sker i DNA'et hos hvirveldyr, når de skrumpet. Projektet skal således udvikle en slags genetisk skabelon for, hvad der sker når dyr skrumpet.

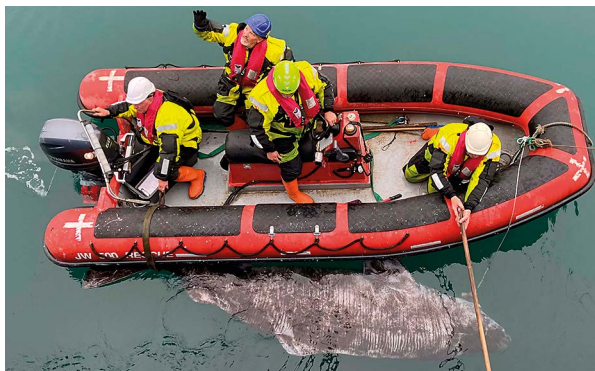
Michael Skov Jensen, Københavns Universitet

Grønlandshajens lange levetid skyldes generne

Grønlandshajen (*Somniosus microcephalus*) er sjældent set af mennesker og omgivet af mystik.

Ikke mindst fordi den lever som undvigende beboer i dybet af det nordlige Atlanterhav og det arktiske hav og er verdens længstlevende hvirveldyr med en anslået levetid på omkring 400 år. Et internationalt forskerhold med deltagelse fra Københavns Universitet har nu kortlagt Grønlandshajens genom, og data tyder på, at dette dyrs værktøjskasse til at reparere sit eget DNA kan forklare dets ekstreme levetid. Forskernes arbejde med at afkode artens genetiske sammensætning vil kaste nyt lys over de generelle mekanismer, der er involveret i dyrs alder og lang levetid.

»Vores nye arbejde er en hjørnesteen for en bedre forståelse af Grønlandshajens ekstreme fysiologi. Det hjælper os med at vurdere dyrets genomiske mangfoldighed og dermed populationsstørrelsen af denne sårbare art for første gang,« siger John Fleng Steffensen



En cirka fire meter lang Grønlandshaj-hun fanget på langline i nærheden af Narsaq. Foto: Kirstine Fleng Steffensen

fra Biologisk Institut, Københavns Universitet, som har studeret disse kæmpedyr i felten de sidste femten år.

En af projektets tidlige udfordringer var hajens genomstørrelse. Med 6,5 milliarder basepar er Grønlandshajens genetiske kode dobbelt så lang som et menneskes, og det største blandt haj-genomsekvenser til dato. Grønlandshajens store genom skyldes primært tilstedeværelsen af gentagne og ofte selvreplikerende elementer i genomet. Sådanne

»transponerbare« gener, også kaldet »springende« gener (transposon) er ofte betragtet som genomiske parasitter, og de tegner sig for over 70 % af Grønlandshajens genom.

»Interessant nok bliver et højt gnetagelsesindhold ofte betragtet som skadeligt, da springende gener kan ødelægge integriteten af andre gener og reducere genomets samlede stabilitet. For Grønlandshajens vedkommende ser det høje gnetagelsesindhold dog ikke ud til at have begrænset dens levetid,« siger

John Fleng Steffensen. Tværtimod formoder forskerne, at omfanget af de transponerbare elementer endda kan have bidraget til Grønlandshajens ekstreme levetid. Nogle gange kan andre mere funktionelt relevante gener »kapre« det molekylære maskineri kodet af transponerbare elementer for at formere sig. Holdets hypotese er, at flere almindelige gener netop har gjort det under Grønlandshajens udvikling.

Helle Blæsild, Københavns Universitet

En opskrift på hurtigere udvikling af medicin

Kvantecomputere er i teorien meget velegnede til at regne på molekyler – for eksempel lægemidler – fordi molekyler består af atomer, der opfører sig kvantemekanisk. Men de største kvantecomputere i dag er kun i stand til at simulere få atomer, hvilket ikke kan bruges til noget i praksis, da de komplekse molekyler, som bruges i medicin, ofte indeholder millioner af atomer. Nu er forskere ved forskningscenteret Quantum for Life på Københavns Universitet kommet et skridt tættere på at løse problemet. De har nemlig fundet en matematisk opskrift til, hvordan man nemmere programmerer kvantesimulatorer – en slags specialiserede kvantecomputere – så man hiver mere regnekraft ud af samme størrelse simulator.

»Kvantesimulatorer består ikke kun af kvantehardware, men også af kvantesoftware –



Udsnit af kvantesimulator på Quantum for Life Centre. Foto: Kirstine Fleng Steffensen.

altså opskriften til at bruge kvantesimulatorer. Med de nye resultater tager vi et kæmpe ryk på softwaresiden og præsenterer en meget bedre metode, end vi hidtil har haft, til at opskalere den eksisterende hardware, så den kan løse mere komplekse opgaver,« siger Dylan Harley, førsteforfatter til en ny artikel i tidsskriftet *Nature Communications* og ph.d.-studerende på Quantum for Life Centre.

Indtil nu har man haft en forståelse af, at en opskalering af en kvantesimulator krævede, at

den skulle bygges på ny fra bunden af. Dette benspænd tackler den nye kvantealgoritme, som er kernen i kvantesoftware. Algoritmen indfører en kontrolleret mængde støj blandt de partikler, som skal simuleres, sådan at simulationen ikke går i stå, men fortsætter som ønsket. Ideen er af generel karakter og kan bruges til al slags kvantehardware, uanset om den er baseret på atomer, ioner eller endda kunstige atomer såsom superledende qubits.

Den matematiske opskrift skal som det næste skridt prøves af i praksis på kvantehardware. Perspektiverne i at udvikle en effektiv kvantesimulator er store, fordi det fundamentalt kan ændre måden, man udvikler og tester medicin på og speede hastigheden fra laboratorie til patient kraftigt op.

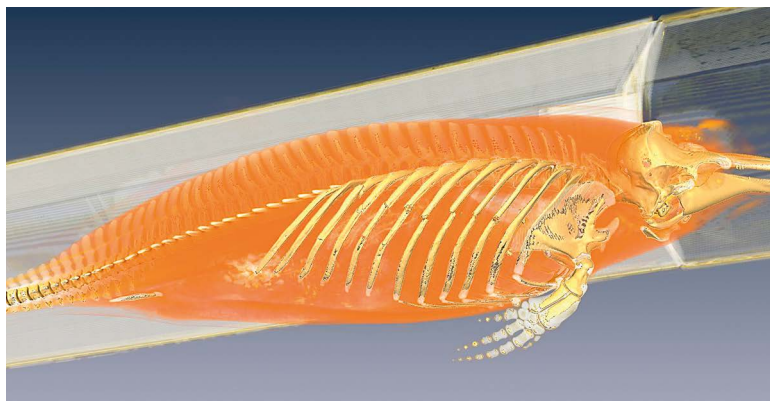
Marie Hornbek, Københavns Universitet, Vid. artikel: *Nat Commun* 15, 6527 (2024).

Bølledelefiner angriber marsvin i danske farvande

Normalt er Svendborgsund et trygt og populært sted at opholde sig for marsvin. Men i de senere år har kajakroere og andre gæster på vandet kunnet berette om delfinen Delles blodige angreb på marsvin. Eller rettere: Delle har "leget" så voldsomt med et marsvin, at marsvinet døde, hvorefter delfinen til tilskueres forfærdelse fortsatte med at kaste rundt med den døde krop.

»Det er normal adfærd for enlige hanner«, siger Olga Filatova, marinbiolog på SDU, og tilføjer, »at lige nu er der ikke delfiner nok i Danmark til, at denne adfærd er et problem – men det kan komme«.

Økologisk og biologisk er der nemlig ikke noget til hinder for, at flere delfiner kan leve i Danmark. De har formentlig levet her før, og med det varmere klima kan de komme igen.



Scanningsbillede af et dødt marsvin med brækkede ribben efter delfinangreb.
Foto: Coen Elemans, SDU

Filatova og hendes kolleger følger derfor nøje med i delfinernes færden og ageren i danske farvande, ligesom de forsøger at monitorere, hvordan marsvin reagerer på dem. I øjeblikket har de især fokus på den unge han, Skywalker, hvis lyde de optager med undervandsmikrofoner.

»Vi kan høre, om både Skywalker og marsvin færdes samtidigt nær mikrofonen, om de skiftes til at være i området, eller om marsvinene holder sig helt væk«, siger Filatova.

Ifølge forskerne skal der ikke komme ret mange delfiner til danske farvande, før de kan få en potentiel effekt på bestandene af marsvin. Selv et lille antal toprovdyr – som delfinen er – kan være nok til at forårsage store ændringer i lokale miljøer.

Ifølge Filatova er den aggressive adfærd ikke unormal hos han-delfiner, og den er observeret flere steder i

verden. Men det er ikke det samme, som at alle han-delfiner udviser den adfærd.

»Vi ser det hos hanner i parringssæsonen. Men når det bliver vinter, og parrings-sæsonen er ovre, falder de til ro. Vi ved ikke, hvorfor de gør det. Måske har det noget at gøre med, at der ikke er nogen hunner i nærheden, som de kan interagere med«, siger hun.

Birgitte Svennevig/SDU.

Vid. artikel: doi.org/10.1111/mms.13164

Ingen flaskehals på Påskeøen

Påskeøen – kendt for sine mange stenstatuer – er et af de mest afsidesliggende, beboede områder i verden. Her har der levet mennesker siden 1300-tallet, hvor øen blev koloniseret af mennesker fra andre dele af Polynesien (der samlet tæller over 1.000 øer i det centrale og sydlige Stillehav). Nogle forskere mener, at beboerne på Påskeøen selv var skyld i en kollaps af populationen i 1600-tallet på grund af overudnyttelse af naturressourcerne. Denne begivenhed har således været fremhævet som et prominent eksempel på det, man kalder "økomord" (på engelsk *ecocide*), hvor mennesket ødelægger miljøet med katastrofale konsekvenser for sig selv.



Foto: Colourbox

I en ny afhandling i *Nature* har forskere fra Globe-instituttet på Københavns Universitet i samarbejde med internationale kolleger undersøgt genomerne af 15 personer, der levede på øen i perioden mellem 1670 og 1950. Resultaterne peger ifølge forskerne på

en støt stigende population, som først faldt efter Europæerne ankom i 1722 og de senere slave-jægere fra Peru i 1860'erne. Der er altså ingen tegn på en genetisk flaskehals i 1600-tallet, som burde have været konsekvensen, hvis der faktisk var sket et selvforskyldt poplutionskollaps. På den baggrund afviser forskerne "øko-mord-teorien" for Påskeøen.

Forskernes resultater viser også tegn på, at de gamle polynesere, der koloniserede Påskeøen, blandede sig med indfødte amerikanere mellem 1250 og 1430 – længe før Europæerne nåede frem til øen.

CRK, Kilde: *Nature* 633, 389–397 (2024).



Fotos: RUC

Professor Mette Sørensen.

Luftforurening og trafikstøj øger risikoen for infertilitet

En undersøgelse ledet af adjungeret professor Mette Sørensen fra Roskilde Universitet har som en af de første i verden kortlagt sammenhængen mellem luftforurening, vejstøj og risikoen for infertilitet. Med mere end 900.000 deltagere er studiet det største af sin slags til dato og bidrager med ny og vigtig viden indenfor området.

Bag studiet står udover Mette Sørensen forskere fra Kræftens Bekæmpelse, Fertilitetsklinikken på Herlev Hospital samt Aarhus Universitet. Forskerne finder, at luftforurening, målt som koncentrationen af partikler i luften, har en signifikant sammenhæng med mandlig infertilitet. Studiet viser, at for hver gang luftforureningen stiger med 5 mikrogram partikler per kubikmeter, øges risikoen for mandlig infertilitet med hele 44 procent. Forskerne har dog ikke fundet en tilsvarende sammenhæng mellem luftforurening og kvindelig infertilitet.

Hypotesen er, at luftforurening kan have en direkte toksisk effekt på sædceller og

dermed forringe den reproduktive evne hos mænd.

Studiet viser også, at vejstøj kan have en negativ effekt på fertiliteten hos kvinder over 35 år. Risikoen for infertilitet hos denne gruppe stiger med 13 procent for hver gang vejstøjen stiger med 10 decibel. Forskerne antager, at vejstøj kan føre til øget stress og forringet søvn, hvilket kan påvirke kvinders evne til at blive gravide. For kvinder under 35 år fandt forskerne ingen klar sammenhæng. Forskernes resultater tyder også på, at vejstøj muligvis kan påvirke fertiliteten hos mænd, men her er resultaterne ikke så entydige som for kvinder.

Omfattende datagrundlag

Undersøgelsen er baseret på data fra over 525.000 mænd og 377.000 kvinder i alderen 30-45 år, som boede i Danmark mellem 2000 og 2017. Alle personer i undersøgelsen boede sammen med en partner og havde enten ingen eller kun ét barn. Dermed havde forskerne sammensat en studiepopulation, hvor deltagerne med høj sandsynlighed forsøgte

at blive gravide i løbet af studieperioden. Ved hjælp af avancerede matematiske modeller har forskerne beregnet niveauerne af både vejstøj og luftforurening ved deltagernes hjemmeadresser og sammenholdt disse med infertilitetsdiagnoser baseret på data fra landets fertilitetsklinikker. I alle undersøgelsesresultater er der taget højde for forskelle i deltagernes uddannelse og indkomst.

Studiet markerer en milepæl inden for forskning i miljøfaktorer og reproduktiv sundhed.

»Vores fund er opsigtsvækkende, fordi de viser en sammenhæng mellem miljøfaktorer og infertilitet, som vi tidligere kun har haft mistanke om. Næste skridt bliver at undersøge, om trafikstøj og luftforurening forringer chancen for, at fertilitetsbehandling fører til graviditet,« siger Mette Sørensen.

Studiet er publiceret i *British Medical Journal* (BMJ), doi:10.1136/bmj-2024-080664

Af Camilla Buchardt,
RUC Kommunikation & Presse

Om forskeren

Susanne Ditlevsen er professor i matematik og statistik ved Institut for Matematiske Fag på Københavns Universitet. Desuden er hun præsident for Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab. Susanne Ditlevsen startede sin akademiske karriere relativt sent, idet hun startede med en uddannelse som skuespiller, hvorefter hun i 10 år arbejdede i Spanien i forskellige teaterkompagnier som skuespiller og instruktør. susanne@math.ku.dk
Foto: Philippine Chambaut



STATISTIK GIVER ET BUD PÅ FREMTIDENS KLIMA

Det vakte opsigt, da danske forskere i sommeren 2023 annoncerede, at en klimatisk set meget vigtig havstrøm i Atlanterhavet potentielt kan gå i stå i en nær fremtid. Resultatet bygger på en ny statistisk metode, som Susanne Ditlevsen har udviklet.

Forfatteren

Henrik Bendix er videnskabsjournalist. bendix@vidmere.dk

Foredrag:

Susanne Ditlevsen holder foredrag om *Tal, tilfældigheder og tipping points* i serien Offentlige Foredrag i Naturvidenskab den 5. november 2024. Se også ofn.au.dk

Som statistiker oplever man lidt af hvert. Det kan professor Susanne Ditlevsen fra Københavns Universitet skrive under på. I sin karriere som statistiker har hun blandt andet arbejdet med at beskrive blodgennemstrømningen i nyrerne hos rotter, den elektriske aktivitet i rygsøjlen hos skildpadder og menneskehjernens fortolkning af synsindtryk.

I de seneste 12 år har hun arbejdet sammen med en gruppe biologer

fra Grønlands Naturinstitut, som forsøger at blive klogere på havpattedyr i det arktiske område. Hun har endda selv været med til at forsyne hvaler med måleudstyr og satellitsendere, fortæller hun:

»Der stod jeg fem-ti meter fra en kæmpe stor grønlandshval, som vi skulle tagge oppe ved Diskøen i Grønland. Det var vildt!«

I de forløbne par årtier har hun brugt de fleste af sine vågne timer på at analysere de data, som fysio-

loger, biologer og psykologer har forsynet hende med, og det har været en fornøjelse, siger hun:

»Jeg elsker, at jeg kan få lov til at rode med så mange forskellige ting! Jeg kan godt lide teoretisk udvikling af statistik, men jeg kan virkelig også godt lide anvendelsen. Det er guld værd at arbejde sammen med dem, der indsamler data, for de data har jeg brug for at forstå. Og rent matematisk er det nogle interessante og udfordrende problemer, der skal løses.«

Men på det seneste har det hverken været nerveceller eller hvaler, der har holdt hende beskæftiget. Siden 25. juli 2023 har hun og hendes storebror, klimaprofessor Peter Ditlevsen, nemlig været centrum for en sand mediestorm, efter de publicerede en videnskabelig artikel med overskriften "Warning of a forthcoming collapse of the Atlantic meridional overturning circulation" – en advarsel om, at en af de absolut vigtigste havstrømme står foran et kollaps.

Samme dag bragte den britiske avis *The Guardian* en artikel med overskriften "Gulf Stream could collapse as early as 2025, study suggests." Det var ikke just en overskrift, der var belæg for i den videnskabelige artikel, men den fik fyret godt op under kedlerne hos andre medier, som stadig – her mere end et år senere – skriver om søskendeparrets resultater.

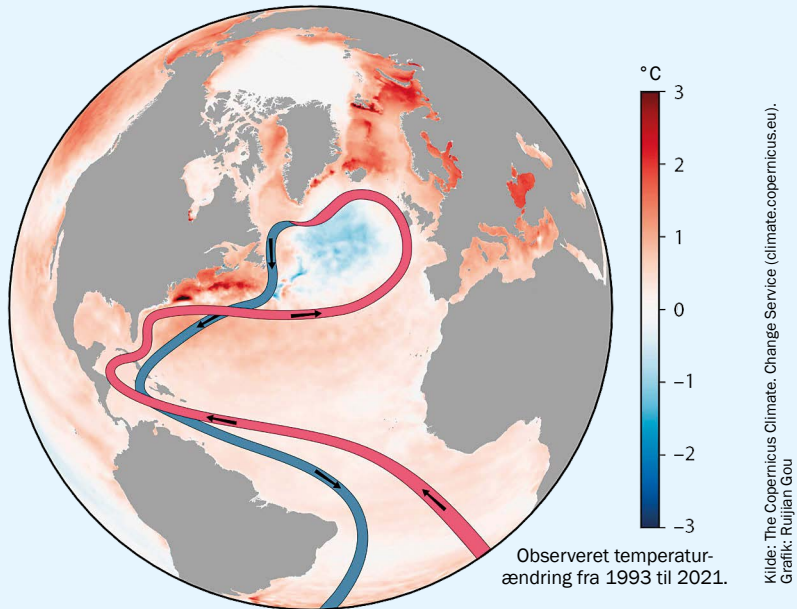
»Det har virkelig været voldsomt. Men det har også været en once-in-a-lifetime-oplevelse at publicere en artikel, der får så meget opmærksomhed,« lyder det fra Susanne Ditlevsen, der ærligt må indrømme, at hun efterhånden er godt træt af at snakke med journalister.

Men det er en del af jobbet som forsker, og budskabet er vigtigt: Hvis vi ikke meget snart nedbringer udledningen af CO₂, går den vigtige havstrøm i Atlanterhavet sandsynligvis i stå. Det vil ske i løbet af dette århundrede, og det vil få dramatiske konsekvenser, både for os i Nordeuropa og længere sydpå.

Gigantisk varmepumpe er truet

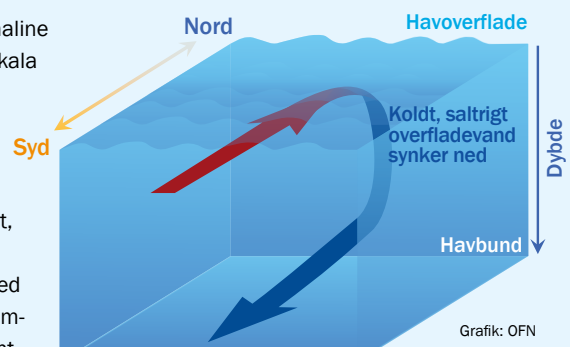
I videnskabelige kredse går havstrømmen under navnet Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC), på dansk den atlantiske termohaline cirkulation. Den fungerer som en gigantiske pumpe, der transporterer varme fra syd til nord.

Nogle medier – som netop *The Guardian* med deres overskrift – har blandet AMOC og Golfstrømmen sammen. Det er problema-

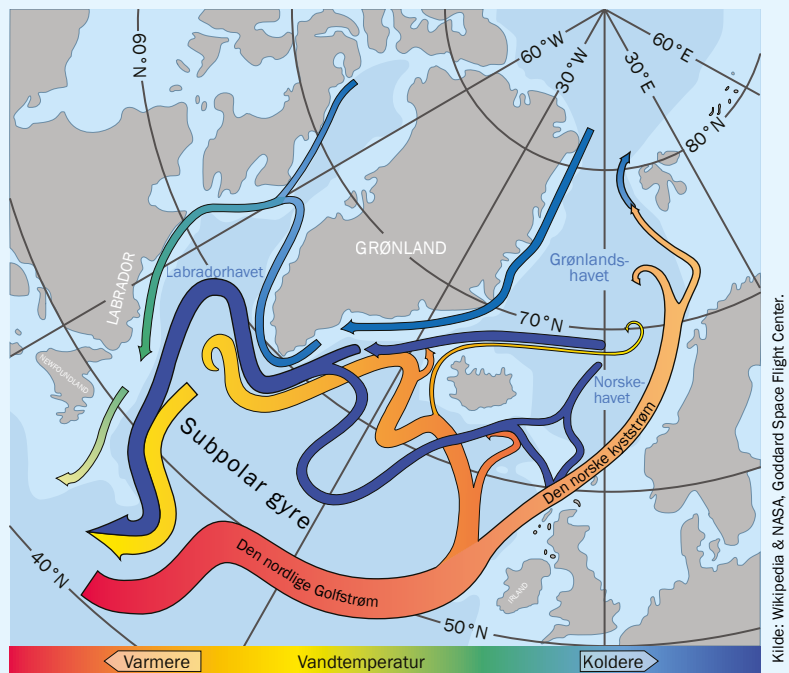


AMOC

Den atlantiske termohaline cirkulation er en storskala bevægelse af hele Atlanterhavet, der er drevet af forskelle i vandets temperatur og salinitet. Koldt, saltrigt – og dermed tungt – vand synker ned i arktiske egne og strømmer sydpå, mens varmt overfladevand flyttes mod



nord. På den måde flyttes omkring 15 millioner kubikmeter vand per sekund. Havstrømmen fungerer som en gigantisk varmepumpe, der hvert sekund flytter en million milliard joule fra syd til nord. Effekten på en petawatt svarer omtrent til 50 gange energiforbruget for alle mennesker på kloden.



Havstrømme i Nordatlanten. Afkøling og nedsynkning af salt havvand er hovedmotoren for den termohaline cirkulation i verdens oceaner. Denne motor kan svækkes af store mængder fersk smeltevand fra Indlandsisen.



Foto: Shutterstock

tisk, fordi Golfstrømmen er en overfladestrøm drevet af vinden, og den bliver ved, så længe Jorden roterer. Anderledes er det med AMOC, der er drevet af forskelle i vandets temperatur og saltindhold. Begge dele påvirkes af den menneskabte, globale opvarmning.

Der er en sammenhæng, for Golfstrømmen bidrager til at bringe varmt vand fra syden op til det nordlige Atlanterhav omkring Island og det sydlige Grønland. Her afgiver vandet sin varmeenergi til atmosfæren. Saliniteten i vandet stiger lidt, fordi en del af havvandet fordamper, og fordi der dannes havis.

Når overfladevandet bliver salttere og koldere, bliver det også tungere. Densiteten stiger. Det får vandet til at synke til bunds i det dybe hav, og så er der plads til nyt, varmt vand fra det sydlige Atlanterhav.

Man kan forestille sig et enormt undersøisk vandfald, der driver den atlantiske termohaline cirkulation; en enorm pumpemekanisme, der kaldes Grønlandspumpen, og som flytter mange millioner kubikmeter vand hvert sekund.

Men den globale opvarmning kan stoppe pumpen. Varmen og en øget regnmængde får den grønlandske indlandsis til at smelte, og smeltet vandet er ferskvand, der er lettere end saltvand. Når ferskvandet blander sig med saltvandet, synker det langsommere til bunds, end det ellers ville gøre.

Så bremses hele cirkulationen, og det store spørgsmål er så, om der eksisterer en kritisk tærskelværdi – et tipping point – hvor pumpen pludselig går helt i stå, og hvornår det i så fald vil ske.

Systemet kan tippe over

Data fra iskerneboringer og andre palæoklimatiske data peger på, at klimaet tidligere har ændret sig abrupt, oplagt i forbindelse med ændringer i den atlantiske termohaline cirkulation. Og siden 1960'erne har modeller af cirkulationen vist, at sådan et tipping point eksisterer.

I matematiske kredse kaldes et tipping point et bifurkationspunkt. Her kan en lille ændring i en af systemets parametre føre til en pludselig og voldsom ændring i systemets opførsel. Og det er noget, der tænder Susanne Ditlevsen:

»Fra et statistisk synspunkt er min store interesse ikke-lineære, stokastiske processer. Processer er noget, der udvikler sig over tid, og stokastisk betyder, at der er noget tilfældigt i det. Så det er altså en proces, hvor man ikke kan sige præcis, hvordan den udvikler sig, men man kan sige noget om fordelingen af, hvordan den udvikler sig. Og så interesserer det mig meget, når vi har noget ikke-lineært, som ikke bare udvikler sig stille og roligt.«

At den atlantiske termohaline cirkulation er et stærkt ikke-lineært system er udgangspunktet for den videnskabelige artikel, som Susanne og Peter Ditlevsen fik publiceret i 2023. Her antager forskerne, at havstrømmen har to forskellige såkaldt "kvasi-stationære" tilstande. Enten pumpes den rundt, eller også står den stort set stille.

Indirekte målinger tyder på, at AMOC'en er blevet svækket i takt med den globale opvarmning igennem de seneste 100 år. Men her har den opført sig pænt og lineært, styrken af havstrømmen har kun ændret sig lidt ad gangen. Problemet er, at den pludselig kan nå et tipping point, hvor den ikke længere

Statistikken bag tipping points

Begrebet tipping point bliver ofte brugt om en kritisk værdi, hvor en lille perturbation i systemet kan føre til en stor ændring i systemet. Rent matematisk – for tipping i AMOC'en – er det en såkaldt saddelepunktsbifurkation. Systemet har to stabile tilstande – en tilstand, hvor pumpen kører (on-state) og en tilstand, hvor den er slukket (off-state).

Den simpleste ligning for en saddelepunktsbifurkation er:

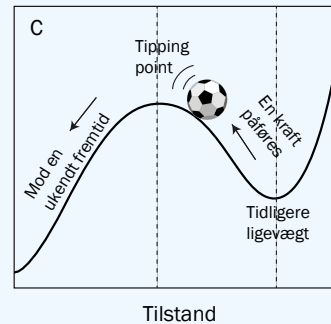
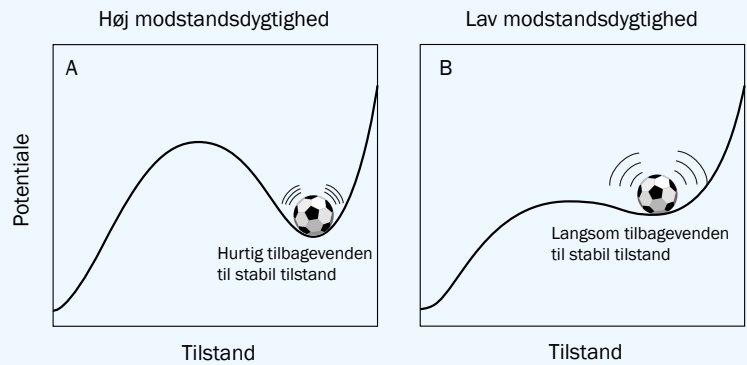
$$\frac{dx_t}{dt} = -(x_t^2 + \lambda)$$

Fixpunkter er de punkter, hvor højresiden er lig nul. Der er ingen fixpunkter for $\lambda > 0$. For $\lambda < 0$ er der to fixpunkter:

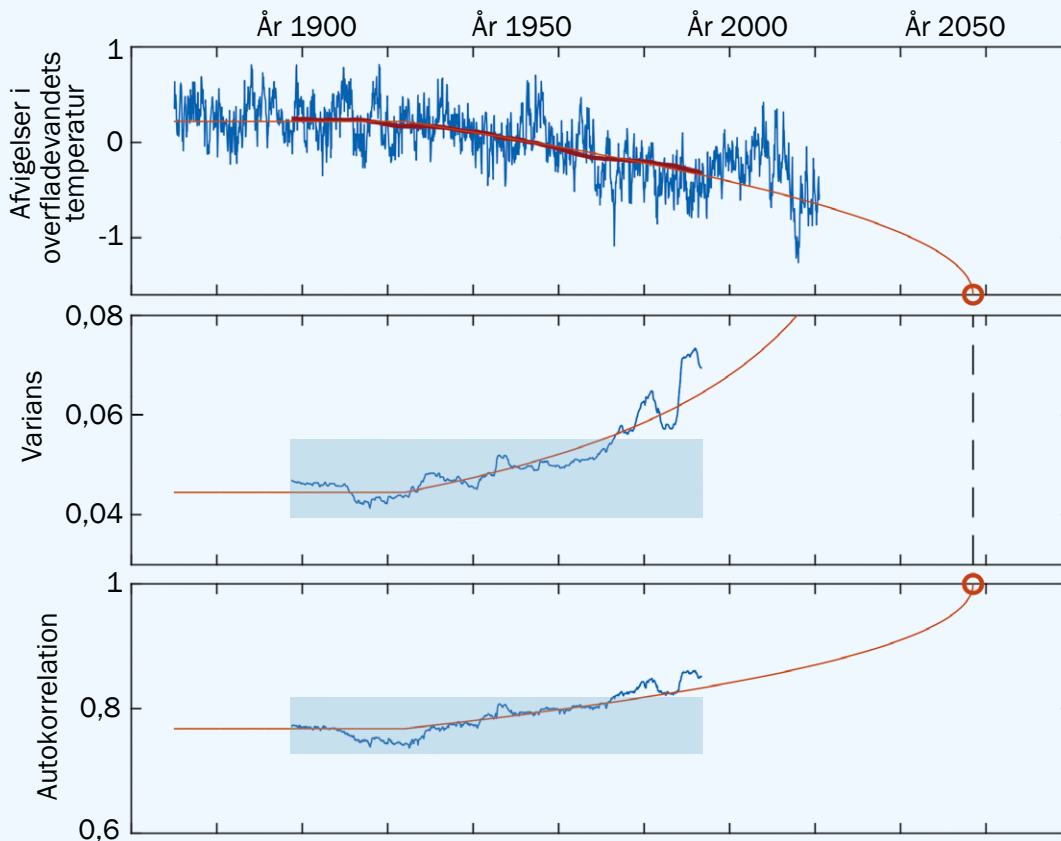
$$x^* = \sqrt{-\lambda} \text{ er stabilt og } x^* = -\sqrt{-\lambda} \text{ er ustabil.}$$

På figuren er modellen tegnet for to forskellige værdier af λ . Til venstre (A) er λ meget negativ, systemet er modstandsdygtigt (lav varians) og vender hurtigt tilbage til en stabil tilstand. Til højre (B) er λ tættere på nul, systemet er mindre modstandsdygtigt, variansen er større, og systemet er lang tid om at vende tilbage til den stabile tilstand.

Hvis λ repræsenterer global opvarmning, svarer A i figuren til situationen før industrialiseringen, og B svarer til, hvor vi er på vej imod. Når λ bliver lig 0, sker bifurkationen, og systemet vil uvægerligt skifte til den anden tilstand.

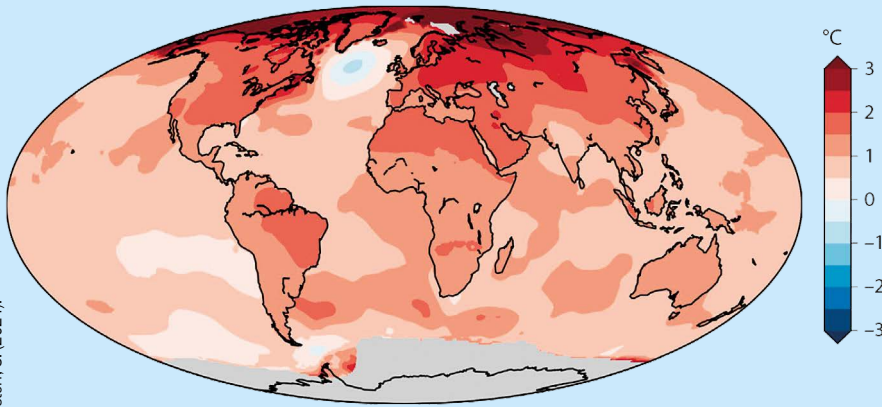


Systemet kan også tippe inden bifurkationen (C). Her tipper systemet over barrieren grundet tilfældige påvirkninger (såkaldt noise-induced tipping, modsat bifurcation-induced tipping).



Når systemet langsomt ændrer sig, efterhånden som λ vokser mod nul, vil der være advarselssignaler. Man siger, at data vil have stigende varians og stigende autokorrelation (stigende "hukommelse"). Det er statistiske signaler, som man kan bestemme ud fra data. På figuren øverst ses data fra de seneste 150 år for havoverfladetemperaturen i den Subpolare Gyre. Nedenfor er løbende estimater af de to statistiske størrelser, og man ser, hvordan de stiger – og stigningen bliver statistisk signifikant, når de forlader det mørkere blå område. Når man statistisk tilpasser data til modellen for en saddelepunktsbifurkation, fås de røde estimater – man kan se, at modellen (rød) passer til data (blå).

Tekst og grafer:
Susanne Ditlevsen



Figuren viser et kort over temperaturændringer i luften nær havoverfladen siden slutningen af 1800-tallet. De grå områder angiver mangel på data.

Kold plet er et dårligt varsel

Der foregår noget mystisk i Nordatlanten lige syd for Grønland og Island. Mens verden generelt bliver varmere, er dette område koldere end normalt. Her er vandtemperaturen i overfladen faldet igennem mere end 100 år, mens den er steget andre steder. Forskerne forsøger selvfølgelig at finde ud af baggrunden for denne kolde plet, som de kalder "the cold blob" eller "the North Atlantic warming hole". Forskellige modeller giver forskellige forklaringer, men et bud er, at anomaliteten har at gøre med en svækket atlantisk cirkulation.

Mindre varme bringes fra syd til nord, og samtidig kommer der mere smeltevand fra de grønlandske gletsjere, for den globale opvarmning går hårdt ud over Grønland. Derfor bliver vandet koldere end sædvanlig syd for Grønland.

bare svækkes, men kollapser i løbet af et par årtier. Og når den først er kollapset, er det rigtig svært at få den i sving igen.

»Så ændrer den sig fundamentalt til den anden tilstand, og ændringen er irreversibel. AMOC'en kan ikke umiddelbart vende tilbage til sin oprindelige tilstand. Er havstrømmen først tippet over, er det meget, meget svært at få den i gang igen, og det sker ikke inden for et par generationer,« siger Susanne Ditlevsen.

Spørgsmålet er så, hvornår den atlantiske termohaline cirkulation når sit tipping point. Ifølge FN's klimapanel (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) er det meget usandsynligt, at AMOC'en kollapser i dette århundrede. Men en del forskere, heriblandt Susanne og Peter Ditlevsen fra Københavns

Universitet samt oceanografen og klimaforskeren Stefan Rahmstorf fra Universität Potsdam i Tyskland, er overbeviste om, at IPCC underestimerer risikoen.

»De store klimamodeller, som IPCC bygger deres rapporter på, er typisk for lineære og for konservative,« som Susanne Ditlevsen siger det.

Fortiden fortæller om fremtiden

Skal man give et bud på, hvordan AMOC'en udvikler sig fremover, skal man vide noget om, hvordan den historisk har opført sig. Her er udfordringen, at der er ret begrænsede data om den store havstrøm, og netop derfor er der brug for en statistiker, fortæller Susanne Ditlevsen:

»For mig er statistik at hive viden ud af data. Statistik bruger vi, når vi gerne vil vide noget om et fænomen, som vi ikke nødvendigvis

kan se eller måle direkte. Så må vi indhente indirekte data og så bruge statistik til at finde den information, der ligger gemt i de data.«

Vil man måle styrken af den atlantiske termohaline cirkulation, skal man helst måle vandstrømmen direkte. Det har oceanografer gjort siden 2004, og målingerne har vist, at strømmen er aftagende, og at den varierer mere, end forskerne havde troet.

Men disse målinger rækker ikke langt nok tilbage til, at man kan bruge dem statistisk. Her må man ty til mere indirekte målinger – såkaldte fingeraftryk – der kan fortælle om havstrømmens historiske udvikling. For eksempel målinger af vandets temperatur i et bestemt område.

Susanne og Peter Ditlevsen har brugt overfladetemperaturen af havvandet i den subpolare gyre, en stor strømhvirvel i det nordlige Atlanterhav. Her har søens folk indsamlet data, der rækker helt tilbage til 1870, og siden 1970'erne er der også målinger fra satellitter.

Disse data blev fodret til en model baseret på en ny statistisk metode udviklet af Susanne Ditlevsen. I første omgang blev resultatet, at AMOC'en højst sandsynligt kollapser i dette århundrede, nærmere bestemt imellem 2025 og 2095, hvis udledningen af CO₂ og andre klimagasser fortsætter ufortrødent.

Siden publiceringen af den videnskabelige artikel har Susanne Ditlevsen fundet en fejl i sin computerkode, og kollapset er rykket otte år længere ud i fremtiden. I stedet for, at sandsynligheden for et kollaps topper omkring 2057, er det nu omkring 2065.

Men statistikken fortæller stadig, at vi står foran en klimakatastrofe af dimensioner, hvis vi ikke hurtigt får styr på vores udledningen af klimagasser. Går den store, atlantiske varmepumpe i stå, skal vi forvente,

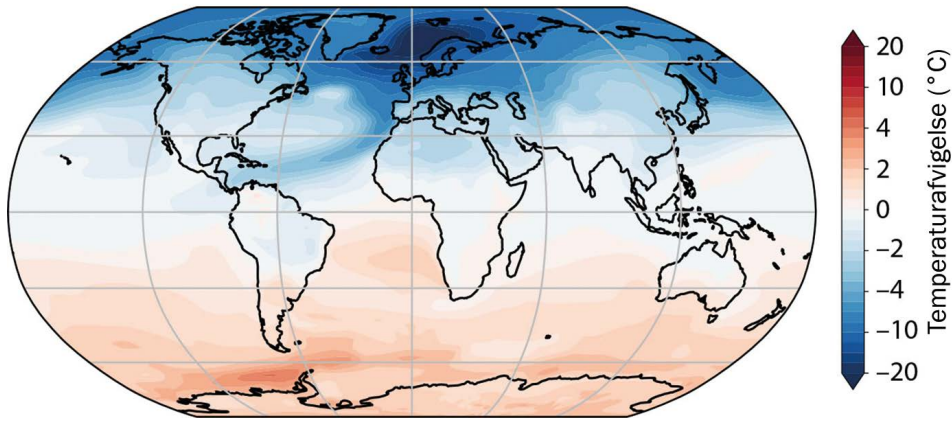


Illustration: R. van Westen, fra van Westen et al. (2024).
Som i Rahmstorf, S. 2024.

Jordens klimatiske system transporterer store mængder af varmeenergi til Nordeuropa. Kortet viser et kvalificeret bud på forholdene helt uden AMOC. Næsten hele den nordlige halvkugle ville være betydelig koldere – især Island, Skandinavien og Storbritannien.

at Europa bliver 5-15 grader koldere på mindre end 100 år. Måske tager det kun få årtier.

For os nordpå vil et kollaps forårsaget af den globale opvarmning ironisk nok betyde en betydelig afkøling, som for eksempel vil ændre hvilke afgrøder, vi kan dyrke. Omvendt bliver de tropiske egne endnu varmere, og nedbørsmønstrene ændrer sig.

De fleste klimaforskere er med på,

at AMOC'en svækkes af den globale opvarmning. Men der er akademisk uenighed om, hvor tæt havstrømmen er på et kollaps, og om det overhovedet er muligt at forudsige ud fra de data, der er til rådighed.

Det sidste ord er ikke sagt om den atlantiske termohaline cirkulation, og det er Susanne Ditlevsen da også klar over:

»Det største kritikpunkt er det datasæt, vi bruger. Og man kan jo godt

menne, at man kun skal bruge målingerne fra 2004 og frem. Men så er der simpelthen ikke data nok,« siger hun og fortsætter:

»Der er ingen tvivl om, at vores metode kan forbedres. Man kan sagtens bygge flere detaljer ind, inddrage andre datasæt og tage højde for støj. Peter og jeg har da også en liste over ting, vi gerne vil lave. Vi skal bare finde tiden og have nogle bevillinger til nogle ph.d.-studerende.«

Videnskabelig artikel:
Peter & Susanne Ditlevsen: "Warning of a forthcoming collapse of the Atlantic meridional overturning circulation". Nature Communications, 25/7 2023, DOI: 10.1038/s41467-023-39810-w
www.nature.com/articles/s41467-023-39810-w

Rahmstorf, S. 2024. Is the Atlantic overturning circulation approaching a tipping point? Oceanography, doi.org/10.5670/oceanog.2024.501.

Kritik af artiklen fra 2023:
M. Ben-Yami et al.: "Uncertainties too large to predict tipping times of major Earth system components from historical data", Science Advances, 2. august 2024, DOI: 0.1126/sciadv.adl4841
www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adl4841

Læs Naturvidenskabelig Bachelor

Fordyb dig i medicinal biologi, molekylær biologi, matematik, fysik, kemi eller miljøbiologi. Du kan f.eks. arbejde med at undersøge miljøskadelige stoffer i havet, bedre diagnosticering og behandling af sygdomme, antibiotikaresistente bakterier, plastforurening eller måske er du bare nysgerrig på hvordan man udvikler nye naturvidenskabelige metoder og teorier?

RUC
Roskilde Universitet

Arbejd på tværs af naturvidenskabelige felter.

Arbejd med topforskere i moderne laboratorier.

Uddannelsen kan tages på både dansk og på engelsk, hvor studiemiljøet er mere internationalt.

Læs mere her:



Det er de små dråber vi udånder når vi taler, synger eller blot trækker vejret, som bringer de smitsomme virus videre. Smitte via snot og snavsede hænder er kun sjældent årsag til smitte med luftvejsvirus.

Foto: Shutterstock



Om forfatterne



Mathilde Andrup er sproguddannet fra Aalborg Universitet, men har altid interesseret sig for naturvidenskab – særligt infektionssygdomme igennem historien.



Lars Andrup er seniorforsker, mikrobiolog, ph.d., og har arbejdet på Det Nationale Forskningscenter for Arbejdsmiljø i mange år. I de seneste år har han interesseret sig for luftvejsinfektioner og deres smitteveje ud fra et ønske om at kunne forebygge sygdom blandt børn og ansatte i daginstitutioner. LAN@nfa.dk

HVORDAN SMITTER FORKØLELSESVIRUS?

Smitter forkølelsesvirus via snavsede hænder og snot, som man har troet i mange år? Det korte svar er nej, og det har den sikkert aldrig gjort i særlig stort omfang.

Da corona-pandemien startede, var anbefalingerne fra myndighederne: Vask hænder, sprit af, host og nys i ærmet. Disse anbefalinger var oprindeligt baseret på 100 år gamle antagelser om, hvordan luftvejsvirus smitter, fra en tid hvor man aldrig havde set virus i et mikroskop eller vidste, hvor store de var. Siden har vi lært rigtig, rigtig meget – i corona-årene kom der omkring 300 videnskabelige artikler om COVID-19 om dagen! Og nu ved vi, blandt andet på grund

af de såkaldte supersprederbegivenheder, hvor mange blev smittet fra en enkelt syg person, at corona primært smitter via luften, i små bitte dråber, vi udskiller, når vi taler, synger eller blot trækker vejret. Det betyder i praksis, at vi skal have fokus på godt indeklima – ventilation, udluftning og ikke for mange mennesker samlet i for lang tid, når der er en risiko for smittespredning.

Men hvad med forkølelsesvirus? I denne lille artikel har vi kikket på nogle af de gamle eksperimenter,

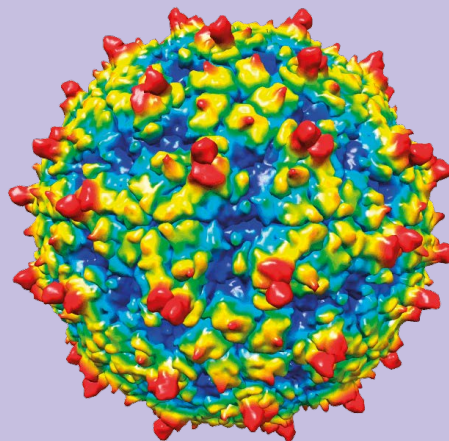
hvor forskere har prøvet at opklare, hvordan forkølelsesvirus smitter, ved forsøg med mennesker.

Forkølelse – den største årsag til sygefravær

Forkølelse er den hyppigste årsag til sygdom for både børn og voksne – og den største årsag til sygefravær fra arbejde, skole og daginstitution. Voksne rammes typisk 2-4 gange om året, mens vuggestuebørn sagtens kan have 8-12 infektioner i det første år. Forkølelse giver sjældent anledning til alvorlig sygdom, men

Hvad er forkølelsesvirus?

Når vi mennesker bliver forkølede, er det oftest på grund af *rhinovirus* – “rhino” er det græske ord for næse, og det er primært slimhinderne i næsen, der bliver angrebet. Resultatet er typisk en masse snot, måske hoste, let feber og almen utilpashed. Der er identificeret omkring 200 varianter af rhinovirus, som er så forskellige fra hinanden, at vores immunsystem ikke kan beskytte os mod dem alle – derfor bliver vi igen og igen forkølede. Andre virus, for eksempel coronavirus og RS-virus, kan også give forkølelseslignende sygdom. Rhinovirus er en lille virus, som tilhører familien picornaviridae (som betyder den lille RNA-virus). Den er kun 30 μm – det vil sige, at der på et punktum i denne artikel, kan ligge cirka 25 millioner viruspartikler.



Figuren viser strukturen af en stamme af rhinovirus (rhinovirus C15a) kortlagt ved hjælp af cry-elektronmikroskopi. Strukturen blev afsløret af forskerhold fra UW-Madison og Purdue University, USA, og publiceret i tidsskriftet *PNAS* i 2016. Farverne er dybde-afhæn-

gige, således at de fremhæver proteinstrukturen på overfladen af viruspartiklen. Denne type rhinovirus har en masse fremspringende “fingre” (de røde spidser) – i lighed med coronavirus’ spike-protein.

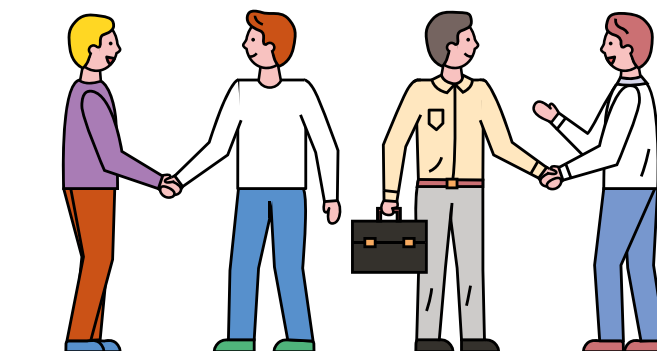
Kilde: Purdue University

den har alligevel store omkostninger for børn, forældre og samfund.

Kan det være rigtigt, at vores små børn skal igennem så mange infektioner i de første år? Videnskabelige studier viser, at børn, der passes i daginstitutioner, typisk har 2-3 gange så mange infektioner, som børn der passes hjemme, særligt i den første tid i vuggestuen. I hundrede år har vi ment, at den bedste forebyggelse var at vaske hænder og undgå, at nogen nyser og hoster på os. Men holder det?

Forskere på Antarktis

I 1971 var en gruppe på 17 polarforskere isoleret i en lille, tæt pakket hytte i Antarktis. Efter 5 måneder i total isolation uden infektioner, åbnede forsøgslederen en medbragt forseglet ampul med rhinovirus og podede 9 ud af de 17 med virus og 7 med placebo (han udelod sig selv fra forsøget). Otte af de 9, som blev podet med rhinovirus, udviklede forkølelser i løbet af 48 timer, og i de efterfølgende dage blev også 5 af dem, som havde fået placebo, smittet med virus. Resultaterne viste, at da rhinovirus blev sluppet løs



i en lille overfyldt hytte, blev cirka 80% inficeret – nogle direkte ved podning og andre efterfølgende ved overførsel af virus fra de smittede. Det var ikke i dette forsøg muligt at sige, hvordan smitten foregik – om det var via hænder, snot, host eller luftbåren smitte.

Smitte via frisk snot

Frivillige studerende blev i 1980 podet med rhinovirus i næsen. Nogle af dem, der blev rigtig syge, blev bedt om at pudse næse i hænderne og afsætte synligt, væskende snot på en kop! Raske studerende, der var modtagelige for den pågældende rhinovirus-variant (dvs. de havde ikke antistoffer mod den i blodet), skulle derefter gribe om koppen og sikre, at de fik frisk snot på fingrene og derefter gnide sig i øjnene og i

næsen. Halvdelelen af dem blev forkølede. Konklusion: hvis du får frisk væskende snot på fingrene, og du gnider dig grundigt i øjne og næse med snotfingre, er der cirka 50 % risiko for, at du bliver syg.

Smitte via kys

Grundige kys, 2 x 45 sekunder, gav kun anledning til smitte hos en ud af 16 frivillige. Dette eksperiment blev udført blandt studerende i USA i 1984, hvor 10 snotforkølede personer blev bedt om at kysse 16 frivillige i 2 x 45 sekunder. Modtagerne af kysene var testede, at de var modtagelige for den pågældende rhinovirus-variant (dvs. antistof-frie). Konklusionen var, at forkølelse kan smitte ved kys, men ikke ret godt. Den ene person, der blev smittet, kunne faktisk have fået virus via

Smitte via snavsede hænder og håndtryk er kun sjældent årsag til smitte med luftvejsvirus som fx forkølelsesvirus.
Illustration: Colourbox

Det kan ikke gentages for tit: En af de allerbedste metoder til at undgå smitte med forkølelsesvirus er at lufte ud!
Tegning: Anja Gram



Kilder:

Artiklen her er delvist bygget på et omfattende litteraturstudium, som er publiceret i to videnskabelige artikler:

Andrup L, Krogfelt KA, Stephansen L, Hansen KS, Graversen BK, Wolkoff P, et al. Reduction of acute respiratory infections in day-care by non-pharmaceutical interventions: a narrative review. *Front Public Health*. 2024;12:1332078.

Andrup L, Krogfelt KA, Hansen KS, Madsen AM. Transmission route of rhinovirus - the causative agent for common cold. A systematic review. *Am J Infect Control*. 2023;51(8):938-57.

Yderligere læsning:

COVID-19-spredning med aerosoler betyder et paradigmeskifte i forebyggelse, *Ugeskrift for Læger*, 2023: ugeskriftet.dk/debat/forskere-covid-19-spredning-med-aerosoler-betyder-et-paradigmeskifte-i-forebyggelse

Forebyggelse af luftvejsinfektioner i daginstitutioner - kort dansk udgave af oversigtsartikel, *Miljø & Sundhed*, 2024: www.sst.dk/da/udgivelser/2024/Miljoe-og-sundhed-2024-nr-1

luften. Forskerne forklarer den lave risiko med, at munden/tungen er 8.000 gange mindre modtagelig for rhinovirus end slimhinderne i næsen.

Poker og virusmitte

I 1987 blev der udført en række ikoniske forsøg med forkølede pokerspillere. Frivillige studerende blev podet med rhinovirus, og de mest forkølede blev efterfølgende sat til at spille poker i 12 timer i forskellige opsætninger. For eksempel spillede 8 syge med 12 raske og modtagelige (antistof-frie) studerende, og man observerede og beregnede smitterisikoen. Cirka 60 % blev smittet. I et andet forsøg blev halvdelen af de raske udstyrede med "robotarme", nogle skinner, som gjorde, at de ikke kunne røre sig selv i øjne, næse eller mund. Her så man, at dem med robotarmene blev smittede lige så ofte som dem uden. Smitten skete altså ikke via deres hænder, øjne og næse.

I et andet lokale blev 12 raske personer sat til at spille poker i 12 timer med kort og jetoner fra de syges spillebord. Og ikke nok med det, de fik friske forsyninger af inficerede, snavsede kort og jetoner hver time. Oveni købet blev de opfordret til at pille næse, gnide sig i øjne og mund... Men ingen af dem blev syge.

Konklusionen på pokerforsøgene var, at rhinovirus smittede gennem luften, og at det ikke var muligt, selv med massivt *til-snottede* kort og jetoner at overføre sygdommen fra et rum til et andet – selv med friskt inficerede kort og jetoner hver time i 12 timer.

Konklusion: Forkølelsesvirus smitter også gennem luften

Da corona-pandemien startede, var de centrale forebyggelsesråd: vask hænder og sprit af! Undervejs blev vi klogere – laboratorie-

forsøg og store superspredningsbegivenheder kunne kun forklares med, at smitten spredte sig gennem luften over store afstande. Det blev tydeligt, at de små dråber vi alle udskiller, når vi synger, taler eller blot trækker vejret, kan indeholde smittefarlige virus. Og afhængig af ventilation, temperatur og luftfugtighed kan de blive hængende i luften i timevis ligesom cigaretrøg og komme helt ned i luftvejene.

Gælder det også for de andre luftvejsvirus som influenza, rhinovirus og RS-virus? Ja, det ser sådan ud. Vi har i denne lille artikel udvalgt nogle centrale studier af smittespredning for forkølelsesvirus, og budskabet er tydeligt: Den smitter via luften. Normalt får man ikke frisk, vådt snot på fingrene og gnider sig efterfølgende grundigt i øjnene. Men der er måske situationer, hvor det ikke kan udelukkes. For eksempel, når man tager sig af små børn i vuggestuer – der er det vist ganske almindeligt, at man kan blive udsat for frisk, vådt snot!

Viden om smitteveje muliggør forebyggelse af ikke blot forkølelsesvirus, men også de andre luftvejsvirus. I praksis udgør sammenhængen mellem dråbestørrelse og smitterisiko et komplekst kontinuum, som påvirkes af tyngdekraften, indeklimaforhold såsom temperatur og luftfugtighed, luftstrømme, mængde og type af udskilte virus og modtagerens påvirkelighed.

Men den viden, vi har i dag betyder, at ventilation, udluftning, luftrensning, tid udendørs, afstand og antallet af personer i et lokale er afgørende for at forebygge smitterisikoen.

God hygiejne, håndvask og rengøring er dog stadig af uvurderlig betydning for at forhindre smitte med andre sygdomme som roskildesyge (maveinfektioner) samt hospitals- og levnedsmiddelbårne infektioner. ■



DIT STUDIEVALG KRÆVER TID – OG LIDT HJÆLP

Vil du uddanne dig inden for naturvidenskab, har du mange valgmuligheder. På KU kan du få hjælp til dit studievalg på flere måder.

Du kan blandt andet:

- Tage et Uddannelsesstjek
- Få vejledning hos KU Bacheloroptagelse
- Blive studerende for en dag
- Se film om uddannelserne

Læs mere om vores naturvidenskabelige uddannelser og dine muligheder på

ku.dk/studier/science



KØBENHAVNS
UNIVERSITET

Søbotten er i gang med at suge sediment op fra Ormstrup Sø. Der er installeret måleudstyr, der sikrer at sugehovedet ligger på bunden af søen og suger 20 cm sediment op. Den kan suge cirka 40 m³ sediment pr. time. Søbotten er udviklet af Dansk Ingeniørservice (DIS) i samarbejde med de øvrige deltagere i rePair projektet, der er finansieret af Poul Due Jensens Fonden. Foto: L Studio.



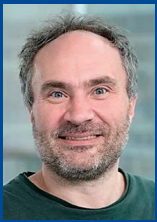
FOSFOR

skal væk fra vores søer og ud på markerne

Forfatterne



Kasper Reitzel Jensen er lektor ved Biologisk Institut, Syddansk Universitet. Han forsker i sørestaurering og genanvendelse af fosfor fra forskellige restprodukter, med henblik på at genanvende fosfor i landbrugssektoren. reitzel@biology.sdu.dk



Morten Lykkegaard Christensen er lektor ved Institut for Kemi og Biovidenskab, Aalborg Universitet. Han forsker i filtrering og afvanding af sediment, spildevand og gylle for at sikre rent vand og genvinde værdifulde ressourcer som fosfor. mlc@bio.aau.dk

I et fuldskala-eksperiment i Ormstrup Sø tester forskere for tiden en nyudviklet metode til at fjerne det fosforrige sediment fra bunden af en sø og bruge det som gødning på marker. Metoden er skånsom, løser et miljøproblem og bidrager til sikring af vores fødevarerproduktion.

Fosfat (PO_4^{3-}) er den eneste form for fosfor (P), der er tilgængelig for planter og alger og er derfor nødvendig for at producere fødevarer til klodens befolkning. Fosfor er en begrænset ressource, og der er en risiko for, at vi løber tør for fosfor i nær fremtid. Men fosfor er også et problem i vores søer, hvor vi i modsætning til i landbruget har alt for meget fosfor. Det betyder, at de danske søer plages af store opblomstringer af mikro-alger (fytoplankton), som skygger for søernes vigtige undervandsplanter, hvilket resulterer i iltsvind, ligesom i vores kystnære områder, hvor problemet dog er nitrogen (kvælstof) og ikke fosfor.

For meget fosfor i søerne resulterer således i forringet biodiversitet, og

i Danmark er det kun 5 ud af cirka 1000 søer, omfattet af vandrammedirektivet, der i dag opfylder dette direktiv. Direktivet dikterer, at vi skal have en god økologisk og kemisk tilstand i danske søer inden 2027. Det er derfor nødvendigt at restaurere vores søer.

I dag sker det primært ved kemisk sørestaurering, hvor der tilsættes fosforbindende kemikalier som aluminium- eller lanthanbaserede produkter, så fosforen bindes permanent i søsedimentet. Dette er ikke den optimale løsning, da fosfor derved begraves permanent i sedimentet og derfor ikke kommer tilbage til landbruget, hvor der er behov for det. En oplagt måde at løse denne udfordring på er ved at fjerne det fosforrige sediment fra

søerne, hvor det skaber dårlig vandkvalitet og bruge det som gødning på markerne.

Fra søbund til mark

Sedimentfjernelse har tidligere været en dyr og besværlig proces, men i et stort forskningsprojekt ved Ormstrup Sø nær Bjerringbro tester vi lige nu nye metoder, der vil gøre fremtidig sedimentfjernelse lettere og billigere.

Forskningsprojektet kan opdeles i fire faser. I første fase bestemmer vi mængden af sediment, der skal fjernes. Dette afhænger af fosforindholdet i søsedimentet, som kan bestemmes i laboratoriet ved brug af en metode kaldet sekventiel fosforfraktionering. Her bestemmes den totale mængde fosfor i

sedimentet, og hvordan fosforen er bundet. Fosfor kan for eksempel være bundet til jern, kalk eller i organisk stof. Ud fra denne analyse laves en dybdeprofil af fosforindholdet i sedimentet, og ud fra den kan vi fastlægge, til hvilken dybde, vi skal fjerne sedimentet.

Fase 2 omfatter den fysiske fjernelse af søsedimentet, som pumpes ind på land ved hjælp af et sugehoved monteret på en specialbygget flydende pram. I fase 3 afvandes sedimentet, så vand fjernes og føres tilbage til søen uden at fjerne fosforen fra det afvandede sediment. Dette er vigtigt, så vi ikke skal transportere overflødig vand, når sedimentet senere skal spredes ud på marken, men også for at undgå at tilføre yderligere fosfor til søvandet. I fase 4 skal det afvandede sediment udbringes på markerne, så det bidrager med fosfor og eventuelt andre næringsstoffer til afgrøderne og derved mindske vores forbrug af natur- og kunstgødning.

Skånsom opsugning af sediment

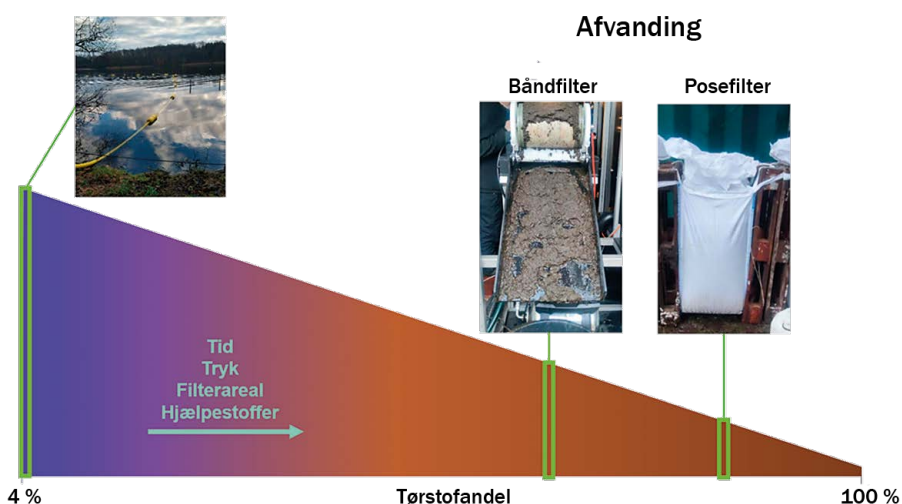
Tidligere har man fjernet sediment med en flydende rendegraver eller lignende. Det er en dyr og meget invasiv metode, hvor sedimentet ofte hvirvles kraftigt op i søvandet, når det fjernes. Søvandet bliver uklart og nogle gange forurenet med uønskede stoffer fra sedimentet. Det er nu lykkedes at udvikle en mere raffineret og skånsom form for sedimentfjernelse, der både er prismæssig konkurrencedygtig med de klassiske kemiske restaureringsmetoder og samtidig ikke forårsager stor ophvirvling af sediment i vandfasen. Sedimentet suges nænsomt op fra søbunden med en nyudviklet, flydende "støvsuger" (søbotten), der bevæger sig langsomt hen over søoverfladen. Sugehovedets placering i sedimentet styres automatisk og sikrer, at der fjernes cirka 20 centimeter sediment fra søbunden.

Afvanding af sediment

Det sediment, der pumpes op på land, indeholder cirka 96 % vand. Det svarer til 10-15 % af den samle-



Ved Ormstrup sø ligger de store aflange afvandingsposer (geotubes), hvor det våde sediment pumpes op i poserne. Vandet løber ud af poserne, samles op af presenningen under poserne, hvor det bliver ledt hen igennem et sandfilter og tilbage til søen. På billedet vises en afvandingspose, hvor sedimentet er afvandet. Posen er skåret op, og sedimentet er klar til at blive fragtet videre. Foto: Kasper Reitzel.



Afvanding betyder, at vandet fjernes fra sedimentet. Væsentlige faktorer er tid, tryk og filterareal samt brugen af hjælpestoffer. På figuren illustreres volumen af sedimentet, når det hentes ind fra søen, efter et båndfilter, og efter et posefilter.

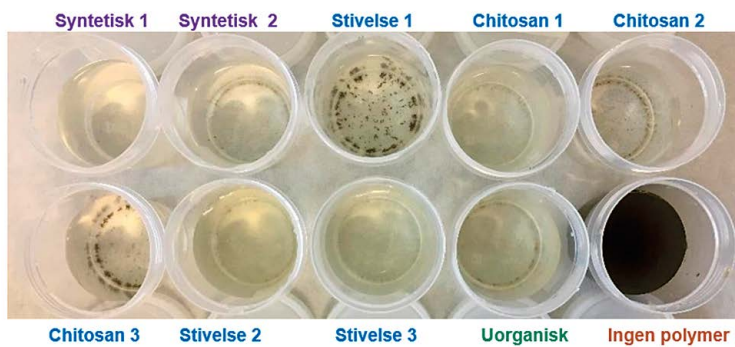
de vandmængde i søen, hvis 20 cm sediment fjernes fra hele søens areal. Da det er meget store mængder sediment, der hentes op fra søen, er det vigtigt at reducere volumen af sedimentet mest muligt, så man ikke skal transportere unødigt tungt og vandholdigt sediment til markerne. I teorien kan volumen reduceres med 96 %, men i praksis reduceres det med cirka 80 %. Selve udstyret til afvanding fylder meget. Ved Ormstrup Sø pumpes det våde sediment op i store aflange afvandingsposer (geotubes), som er lavet af et afvandingsmateriale, der

tillader vandet at passere igennem. Poserne ligger på en presenning på jorden, mens sedimentet afvandes.

Det vand, der afvandes fra sedimentet, skal tilbage i søen. Det er derfor vigtigt, at vandet er rent og ikke forurener søen. Sedimentet indeholder meget organisk stof (cirka 40 % af tørstoffet) samt små uorganiske partikler som ler, der holdes svævende i det oppumpede, vandige søsediment. Det er derfor nødvendigt at få disse partikler til at samle sig og bundfælde i afvandingsposerne, så sedimentet af-



Markforsøg fra Ormstrup. Søsedimentet (mørkebrune felter) bruges som fosforgødning på marken, hvor det undersøges, hvordan sedimentet påvirker plantevæksten. Foto: Kasper Reitzel.



Der er udført en række test, hvor sediment fra søen er filtreret for at fjerne vandet. Inden filtrering er der tilsat syntetiske og naturlige polymerer. Vi har testet to syntetiske polymerer, tre baseret på chitosan og tre baseret på stivelse. Polymererne har forskellig ladning og størrelse. På billedet ses filtratet efter filtreringen. Uden polymer er det grumset, men med polymer er vandet klart.

vandes hurtigere, og der ikke ender partikler og fosfor i det tilbageførte vand. Det kan gøres ved at tilsætte en polymer, der binder partiklerne sammen. Typisk bruger man syntetiske polymerer, men dem vil vi gerne udskifte, da de kan medføre for eksempel forurening af jorden med nanoplastik. Vi har derfor testet naturlige polymerer fra henholdsvis rejskaller (chitosan) og planter (modificeret stivelse).

Vores økotoxikologiske test viser, at de naturlige polymerer er mindre giftige end de syntetiske. Vi har testet polymerer ved at tilsætte dem til sedimentet, før det afvandes. Uden polymer er vandet grumset og indeholder 2-3 milligram fosfor per liter. Med polymer er vandet derimod klart og indeholder kun 0,1 milligram fosfor per liter, mens mere end 98 % af fosforen er bundet i

sedimentet. De naturlige polymerer er lige så gode som de syntetiske polymerer og især velegnede til at fjerne små partikler.

Vores forsøg viser også, at opblandingen af polymer og sediment skal være forskellig, afhængig af hvilken polymer der vælges. De naturlige polymerer skal indblendes mere forsigtigt for at få den optimale effekt.

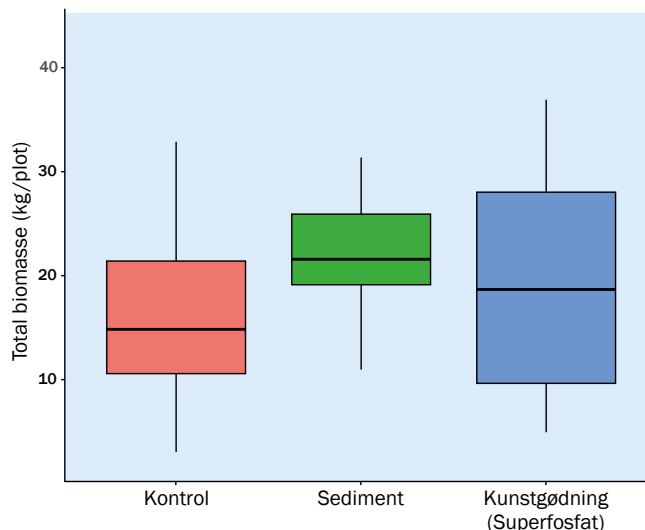
Som et alternativ til afvandingsposer kan man anvende et båndfilter, hvor filterarealet hele tiden fornyes. Det er en attraktiv løsning, hvis pladsen omkring søen er begrænset. Båndfilteret kræver også tilsætning af polymerer. Efter afvandingen er der tilkoblet et sandfilter, der tilbageholder restpolymerer og små partikler i vandet, så returvandet bliver lige så rent som søvandet.

Fosfor som gødning

Når sedimentet er afvandet, skal det udbringes på marken. Det kan gøres ved at anvende en møgspreader. Men først er det vigtigt at undersøge, om der findes skadelige stoffer i sedimentet, for eksempel tungmetaller. Hvis det ikke er tilfældet, kan man bringe sedimentet ud efter samme retningslinjer som almindelig gødning og spildevandsslam. Det betyder, at man må udbringe sediment svarende til 30 kg fosfor per hektar om året. Hvis der findes tungmetaller i sedimentet, må det dog stadig gerne udbringes på markerne, så længe mængden af tungmetaller holder sig indenfor grænseværdierne. Det betyder i praksis, at der kan bringes mindre sediment ud, end hvis sedimentet var uforurenet.

I forbindelse med sedimentfjernelsen i Ormstrup Sø har vi etableret markforsøg, hvor vi tester, hvor godt søsedimentet virker som fosforgødning sammenlignet med kunstgødning. Vi måler effekten af forskellige doser fosfor fra enten søsediment eller kunstgødning og sammenligner med kontrolområder, hvor der ikke tilsættes fosfor. Efter den første vækstsæson, hvor vi har sået ærter på marken, viser vores forsøg, at sedimentet stort set virker lige så godt som kunstgødning. Yderligere planlægger vi at udvide forsøgene til også at omfatte brug af mikroorganismer, såkaldte biostimulanter, der kan frigøre fosfor fra søsedimentet med det formål, at

Figuren viser foreløbige resultater fra et markforsøg med sediment fra Ormstrup Sø. I forsøget dyrkes ærter i felter på 24 m², og figuren viser, hvor meget frisk ærtebiomasse, der blev høstet fra felter med henholdsvis ugødet jord (kontrol), jord gødet med sediment og jord gødet med konventionel kunstgødning. Forsøget forløb fra maj til august og i alt har vi etableret 48 forsøgsfelter, således at vi har 3 replikater fra hver behandling.



mere fosfor fra sedimentet optages af planterne. Princippet i denne teknologi er, at specifikke mikroorganismer udskiller enzymer, der kan opløse forskellige former for uorganisk bundet fosfor – for eksempel fosfor bundet til jernpartikler. Denne del af projektet foretages i samarbejde med firmaet Nordic Microbes, der har specialiseret sig i at indsamle naturligt forekommende mikroorganismer, der er i stand til at nedbryde for eksempel jernfosfater. Ved at "coate" plantefrø-

ne med mikroorganismene, inden de sås på marken, øges mængden af gavnlige mikroorganismer i rodzonen. Derved bliver det muligt at øge optaget af fosfor fra det udbragte søsediment, så man sikrer en endnu mere effektiv udnyttelse af sedimentet.

Mere forurenede søer – her skal andre løsninger på banen

Næsten 1000 danske søer lever ikke op til kriterierne for god økologisk tilstand, så der er nok

at gå i gang med. Nogle af søerne er mere forurenede end Ormstrup sø, og det må forventes, at sedimentet fra mange af disse søer skal behandles yderligere, før det kan komme på markerne.

Vi er derfor ikke færdige endnu, men arbejder på at udvikle metoder til at fjerne tungmetaller fra sediment og nedbryde uønskede organiske stoffer, så vi kan rense endnu flere søer og udnytte den fosfor, der ligger gemt. ■

Yderligere læsning
Reitzel K, Qu H, Christensen ML, Nielsen UG, Nielsen PH. Den globale fosforudfordring. *Aktuel Naturvidenskab*. Nr. 5-2019.

Kamlarczyk, SES: Reitzel, K.; Kragh T. Fosforkredsløbet og fremtidens sørestauring *Aktuel Naturvidenskab*. Nr. 4-2022.

Reitzel, K.; Søndergaard, M.; Olsen, S. B.; Davidson, T.; Egemose, S.; Haasler, S.; Klamt, A.-M.; Kragh, T.; Lolck, M. L.; Christensen, M. L.; Muff, J.; Nielsen, A.; Nielsen, U. G.; Ottosen, L. M.; Polauke, E.; Smith, A. M.; Sø, J. S.; Trolle, D.; Xu, E. G.; Skov, C. Bæredygtig søforvaltning: et paradigmeskifte i restaurering af søer, *Vand & Jord* Volume 28 Nr. 2/2022.

Ny bachelor på SDU

Kunstig intelligens

Er du nysgerrig på optimering, logik, maskinlæring, programmering, etik, algoritmer og matematik?

Med en bachelor i Kunstig intelligens fra Syddansk Universitet får du kompetencer, som allerede nu er efterspurgt i virksomheder og organisationer i Danmark og udlandet.

Du behøver ikke at kunne programmere, når du starter på uddannelsen. Du skal bare have interesse i at lære det, ligesom du skal have flair for at tænke logisk og matematisk.

Læs mere om uddannelsen på sdu.dk/kunstig-intelligens



SUNDHEDSTJEK AF SØER, VANDLØB OG FJORDE VIA DERES METABOLISME

Om forfatterne:



Dennis Trolle er partner i WaterTech. Han er uddannet miljøingeniør fra Aalborg Universitet og har en ph.d.-grad fra University of Waikato, New Zealand og tidligere professor ved Aarhus Universitet. dt@watertech.com



Anders Nielsen er partner i WaterTech. Han er uddannet miljøingeniør fra Aalborg Universitet og har en ph.d.-grad fra Aarhus Universitet, hvor han også har arbejdet som seniorforsker. an@watertech.com

Med en kombination af ilt-sensorer og avanceret databehandling er det muligt at estimere den biologiske omsætning af stof – dvs. metabolismen – i søer, vandløb og fjorde. Det åbner op for en enkel og billig måde løbende at overvåge et vandmiljøes sundhedstilstand.

Tilstanden i søer, vandløb og fjorde bestemmes i dag ud fra standardiserede overvågningsprogrammer, som inkluderer både fysiske, kemiske og biologiske elementer. Antallet af prøvetagninger og laboratorieanalyser, der hvert år gennemføres for de danske søer, vandløb og fjorde, er reduceret betydeligt siden 90'erne, overvejende for at opnå besparelser.

Der findes i dag også sensor-baserede løsninger til direkte overvågning af vandkvaliteten i felten – eksempelvis sensorer, der kan bestemme biomassen af alger og koncentrationen af næringssalte. Der findes imidlertid ikke sensorer, der kan bestemme alle elementer i overvågningsprogrammet. De sen-

sorer, der kan anvendes til blandt andet vandkemi har desuden en præcision og et behov for vedligeholdelse, som betyder, at de ikke kan erstatte traditionel laboratoriebaseret overvågning. De fleste vandkvalitetssensorer er endvidere forholdsvis dyre og kræver omfattende og løbende vedligehold, hvilket øger omkostningerne ved denne form for overvågning.

Der findes imidlertid simple optiske sensorer, der løbende kan måle både iltkoncentration og temperatur, som til sammenligning typisk er langt mere driftssikre. Data fra disse kan – via avancerede computermødelles – oversættes til metaboliske rater, dvs. hvor meget stof, der omsættes pr tidsenhed af alle de

biologiske organismer i økosystemet. Metaboliske rater er interessante, fordi de typisk er stærkt korreleret med de traditionelle vandkvalitetsparametre såsom koncentrationen af næringssalte og biomassen af alger. Kombinationen af optiske ilt-sensorer og metabolismemødelles er derfor en omkostningseffektiv måde at opnå løbende indsigt i miljøtilstanden. Princippet kan sammenlignes med et "Smart Watch", som overvåger en persons puls og bruger denne i en modelberegning til løbende at give en vurdering af personens sundhedstilstand.

Omsætningen i et økosystem
Økosystemers metabolisme (den samlede biologiske omsætning af stof og energi pr tidsenhed)

er en anerkendt og fundamental nøgleegenskab ved et økosystem. Metabolismen i søer, vandløb og fjorde beskrives via økosystemernes samlede primærproduktion og respiration fra alle organismene i systemet lige fra bakterier og alger til fisk og hvaler.

Metabolismen udtrykkes via henholdsvis brutto-primærproduktionen, økosystemets respiration, samt netto-økosystemproduktionen, hvor sidstnævnte kan beregnes ved at trække økosystemets respiration fra brutto-primærproduktionen. Disse rater giver et indblik i økosystemets overordnede sundhedstilstand, hvor for eksempel brutto-primærproduktionen og respirationen typisk er højere i uklare, næringsrige søer sammenlignet med renere næringsfattige søer med højere biodiversitet. Det skyldes, at brutto-primærproduktionen stiger, når mængden af næringsalte stiger, hvilket samtidig betyder, at der produceres mere organisk stof via eksempelvis alger, som kan omsættes via respiration. Ydermere stiger brutto-primærproduktionen og respirationen generelt også med stigende temperatur. Ved at følge disse to metaboliske rater over længere tid kan man derfor få indsigt i, hvorvidt et økosystem går mod en forbedret eller forværret tilstand, og også hvordan et stadigt varmere klima har indflydelse på denne.

Bestemmelse af metabolisme ud fra iltmålinger

Når man udleder de metaboliske rater, foregår det ved hjælp af en såkaldt proces-baseret model. Det er i praksis et sæt af avancerede ligningsudtryk, som indeholder en række parametre, der kan beregne brutto-primærproduktionen, respirationen og iltkoncentrationen. Modellen kalibreres ved at justere på værdierne af de forskellige modelparametre og dernæst sammenligne de beregnede iltkoncentrationer med de observerede iltkoncentrationer over 24 timer. Selve kalibreringen kan gennemføres automatisk ved hjælp af machine-learning, hvor en computer sættes til løben-

Metabolisme som udtryk for vandkvalitet

Flere studier, som eksempelvis Caffrey (2004) og Solomon et al. (2013), har dokumenteret en sammenhæng mellem metaboliske rater (brutto-primærproduktion (BPP) og respiration (R)) og koncentrationen af næringsalte (eksempelvis fosfor) og alger i søer og fjorde.

Desuden har studier påvist, at metabolismen i vandløb også kan anvendes som indikator på en forstyrrelse af tilstanden, for eksempel som følge af en pludselig høj tilførsel af forurening. Det er illustreret her, baseret på en illustration fra Bernhardt et al. (2018).

de at justere på modelparametrene, indtil den modellerede iltkoncentration er så tæt som muligt på den observerede iltkoncentration. Herefter kan brutto-primærproduktionen og respirationen udtrækkes fra den færdigkalibrerede model. Modellen kan tage lidt forskellig form afhængig af, om man arbejder med et system, som lagdeles, og som dermed kan få meget forskellige iltkoncentrationer i overfladen sammenlignet med bunden (for eksempel mange søer og fjorde), eller om det antages, at systemet overvejende er vertikalt opblandet, som er typisk i de fleste studier af vandløb.

Den grundlæggende metode til at bestemme metabolisme ud fra iltmålinger har været kendt siden 1950'erne, da den første gang blev anvendt til at forstå metabolismen i et koralrev. Udviklingen indenfor både sensor- og computerteknologi har siden betydet, at beregningerne i metoden i dag kan udføres med en langt højere tidslig opløsning og også med hensyntagen til flere detaljerede fysiske processer, som alt sammen har bidraget til, at metoden i dag er mere præcis.

Vi har nu udviklet en metode der ved hjælp af machine-learning, automatisk kan kalibrere modellen

Sensorer til måling af iltkoncentration

Der findes forskellige elektrokemiske og optiske sensorer til måling af iltkoncentrationen i vand. De seneste godt 10 år er der gjort store fremskridt indenfor udvikling af optiske sensorer, og denne type sensorer har flere fordele.

Eksempelvis er de lette at kalibrere, og de har en hurtig respons kombineret med høj nøjagtighed. De kræver heller ikke meget vedligehold, men de bør dog rengøres med mellemrum – for eksempel en gang om måneden i sommerhalvåret, hvis man bruger dem i produktive næringsrige søer. På nogle typer af sensorer kan der monteres et kobberhoved, som reducerer begroning,



eller et viskerblad, som automatisk renser sensorhovedet flere gange dagligt, og dermed potentielt kan reducere behovet for manuel rengøring. På billedet ses et eksempel på en optisk iltsensor med kobberhoved, som begrænser begroning på sensorhovedets overflade.

baseret på dagsvariationer i profiler af temperatur og ilt. Metoden bygger på de nyeste metabolismemodeller fra den videnskabelige litteratur og er herudover forbedret på en række punkter. Disse forbedringer gør det for eksempel muligt at gennemføre beregningerne hurtigt på selv meget store datasæt. Metoden kan anvendes sammen med enten en målebøjle, som måler i én eller flere dybder, eller alternativt bygges ovenpå eksisterende computermodeller, der simulerer temperatur og iltkoncentrationer.

Metabolisme i Ormstrup Sø

Ormstrup Sø i Viborg Kommune er på flere måder en typisk dansk sø. Søen er relativt lavvandet (med en middeldybde på cirka 2,3 meter og en maksimal dybde på cirka 5,5 meter) og næringsrig med en stor biomasse af alger særligt i sommermånederne. Flere gange om året opstår der lagdeling i søen, hvilket kan forårsage perioder med iltsvind ved bunden og algeopblomstring ved overfladen. Ormstrup Sø har igennem de seneste år indgået i et forskningsprojekt finansieret af Poul Due Jensen Fonden, hvilket blandt andet har betydet, at der er udviklet en digital tvilling af søen (beskrevet nærmere i Aktuel Naturvidenskab nr. 4/2022). Her indsamles observationer fra en målebøjle, der blandt andet måler temperatur og iltkoncentration, og disse observationer indgår i en realtids økosystemmodel for søen. Modellen giver detaljerede estimater på dagsvariationer i både temperatur og ilt i hele søens dybdeprofil. Det giver derfor en god mulighed for at teste den nye metabolismemetode og samtidig undersøge, hvordan søens metabolisme varierer som funktion af de observerede perioder med lagdeling og iltsvind.

I 2020 havde Ormstrup Sø flere perioder med lagdeling og iltfrie forhold ved bunden. I april måned blev søen for eksempel lagdelt to gange i perioder på godt en uge, og begge gange opstod der iltsvind ved bunden. Efterfølgende blev søen igen lagdelt i godt en måned fra starten af juni – igen med iltsvind til følge. På baggrund af temperatur- og ilt-data fra denne periode har vi beregnet de metaboliske rater for søen, altså brutto-primærproduktionen og respirationen. Vores beregninger viser, at primærproduktionen generelt stiger kraftigt i

Metabolismeberegninger

For at kunne udlede metaboliske rater – det vil sige brutto-primærproduktionen og respirationen – ud fra iltkoncentrationen og temperaturen i for eksempel en sø, har man brug for en model, der så nøjagtigt som muligt beskriver, hvordan disse faktorer hænger sammen, og samtidig tager højde for, hvordan opblanding i vandet har indflydelse på iltkoncentrationen. For et system, hvor der periodevist sker en lagdeling af vandsøjlen (hvilket gælder de fleste søer) vil modellen typisk have en form, der kan udtrykkes med denne ligning:

$$\frac{\delta O_2(i)}{\delta t} = BPP_i - R_i + D_{z(i)} - D_{v(i)} - D_{s(i)}$$

Den beskriver ændringer i iltkoncentrationen over tid i et givent vertikalt lag (i), som funktion af brutto-primærproduktionen (BPP), respirationen (R) samt tre faktorer, der beskriver ilt-strømningen (fluxen) forårsaget af forskellige processer. Her beskriver D_z ilt-fluxen forårsaget af ændringer i opblandingsdybde, D_v beskriver ilt-fluxen forårsaget af den vertikale opblanding, som er drevet af turbulens og diffusion i vandsøjlen, og D_s beskriver ilt-fluxen forårsaget af genluftningen mellem atmosfæren og vandets overflade.

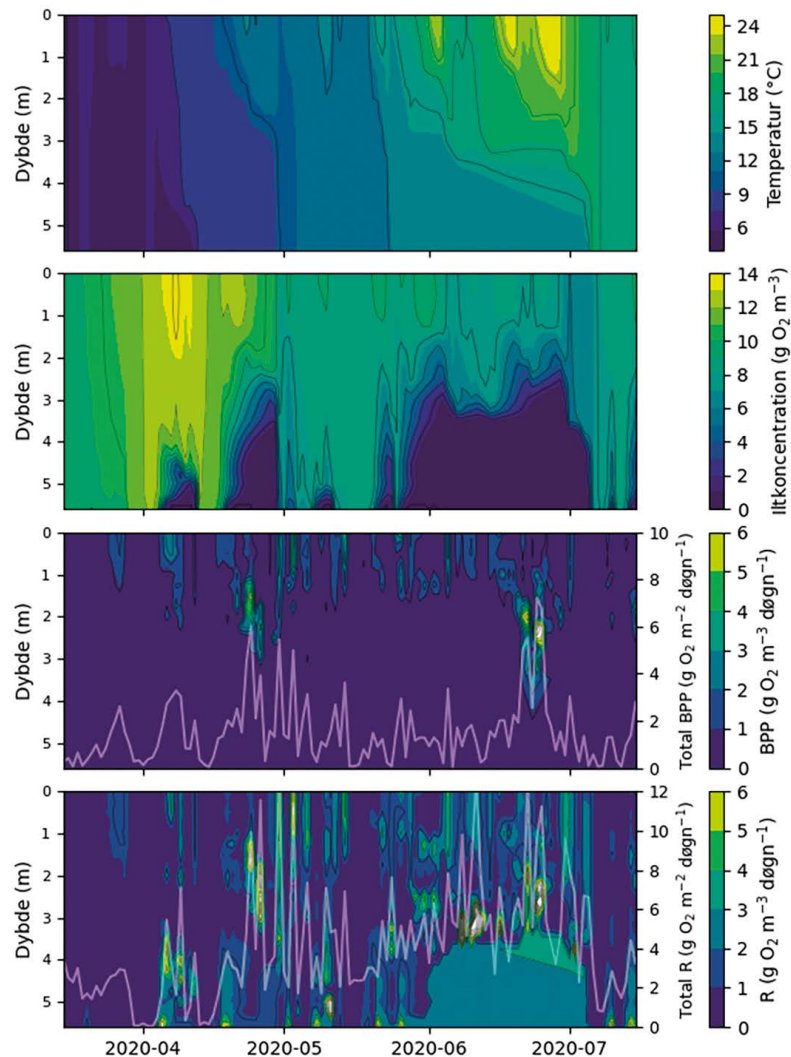
En række forskellige modelparametre indgår i beregningen af de enkelte processer. Disse modelparametre kan kalibreres med forskellige optimeringsalgoritmer, som har til formål at få den modellerede iltkoncentration til at stemme godt overens med den målte iltkoncentration. Brutto-primærproduktionen og respirationen kan herefter udtrækkes fra den færdigkalibrerede model.

overfladen i forbindelse med disse periodiske lagdelinger. Respirationen stiger ligeledes i disse perioder og er generelt højst der, hvor der også er høj primærproduktion. Den højeste primærproduktion findes ofte nær springlaget – dvs. det lag, der skiller vandsøjlen i overfladevand, som er lidt varmere og med en lidt lavere densitet, fra bundvandet, som er koldere og med en højere densitet. Det kan forklares med, at der nær springlaget findes de samlet set bedste vækstforhold for algerne i forhold til tilgængeligheden af lys og næringssalte. Selv i perioder med lagdeling kan næringsstoffer i et vist omfang transporteres igennem springlaget fra det næringsrige bundvand via turbulens og diffusion.

Ormstrup Sø bliver igennem 2024 restaureret ved at oppumpe og fjerne en del af det næringsrige bundsediment. Målet er at opnå en mere klar vandet sø, hvor primærproduktionen er betydeligt reduceret, og skifter fra at være domineret af alger, til at være domineret af undervandsplanter. Metabolismemetoden vil derfor igen blive taget i brug, for at beregne hvor stor en effekt restaureringen reelt har haft på brutto-primærproduktionen.

Fremtidens vandmiljøovervågning

På grund af den relativt tekniske og avancerede metode, der skal anvendes for at estimere metaboliske rater ud fra dagsvariationer i iltkoncentrationen, har beregningerne hidtil været forbeholdt specialiserede forskningsmiljøer. Men med den nye implementering af metodikken i et webbaseret værktøj (WaterWebTools), kan metoden nu anvendes bredt for målebøjer eller økosystemmodeller. WaterWebTools-webplatformen er designet til løbende at processere sensordata i realtid og bruge disse data i en række forskellige modeller samtidig med, at output gøres let forståelig og nemt tilgængelig. Det er selvsamme platform, som anvendes til den digitale tvilling af Ormstrup Sø. Det betyder, at når for eksempel en ny



Figuren viser temperatur og iltkoncentrationer fra den digitale tvilling af Ormstrup Sø samt brutto-primærproduktion (BPP) og respirationen (R) udledt via metabolismemetoden for perioden 15. marts til 15. juli 2020. De fuldt optrukne hvide linjer på de to nederste diagrammer repræsenterer hele søens samlede areal-vægtede brutto-primærproduktion og respiration.

målebøje med iltensorer kobles til platformen, vil udregningerne kunne aktiveres og udføres automatisk, uden behov for detaljeret og teknisk modelleringsindsigt. Der er således et stort potentiale for, at metabolisme kan blive en integreret del af vandmiljøovervågningen nationalt som internationalt.

Metabolismeberegningerne kan ikke erstatte den eksisterende, standardiserede overvågning, der indeholder en længere række forskellige kvalitetselementer. Men metabolismeberegningerne kan give en væsentlig mere detaljeret indsigt i systemernes tilstand i realtid og ikke mindst også give grundlag for langtidsovervågning ud fra relativt simple og stabile målinger. ■

Videre læsning

Om metoden til bestemmelse af metabolisme: Staehr, P.A., Christensen, J.P., Batt, R.D., Read, J.S. 2012. Ecosystem metabolism in a stratified lake. *Limnology and Oceanography*, 57(5): 1317-1330. doi:10.4319/lo.2012.57.5.1317.

Om sammenhænge mellem metabolisme og vandkvalitet: Solomon, C.T., et al (2013). Ecosystem respiration: Drivers of daily variability and background respiration in lakes around the globe. *Limnology and Oceanography*, 58(3), 849-866. doi.org/10.4319/lo.2013.58.3.0849.

Bernhardt, E.S. et al (2018). The metabolic regimes of flowing waters. *Limnology and Oceanography*, 63(S1), S99-S118, doi.org/10.1002/lno.10726.

Caffrey, J.M. 2004. Factors controlling net ecosystem metabolism in U.S. estuaries. *Estuaries*, 27(1), 90-101. doi.org/10.1007/BF02803563.

Om den digitale tvilling: Trolle, D., Andersen, T.K., Nielsen, A., Bolding, K., Schnedler-Meyer, N.A. 2022. Søens digitale tvilling – et virtuelt laboratorium. *Aktuel Naturvidenskab*, nr. 4, 2022, s 20-23. aktuelnaturvidenskab.dk/fileadmin/Aktuel_Naturvidenskab/nr-4/AN4-2022-digital-soe.pdf

Geotubes fyldt med sediment ligger langs søbredden ved Ormstrup Sø.

Lille foto: Sø-robotten sejler på Ormstrup Sø, hvor den suger sediment op fra søbunden.

Fotos: Naturvidenskabernes Hus



ROBOTTEKNOLOGI OG MILJØ I UNDERVISNINGEN

Besøg ved Ormstrup Sø giver gymnasieelever et praktisk indblik i udviklingen af en sø-robot.

På en solskinsdag i august viste Ormstrup Sø sig fra sin bedste side, da en HTX-klasse fra Grenaa besøgte søen. De var kommet for at se og blive klogere på "Søboten", og især det, den laver nede på søens bund.

»Det er fedt at komme ud, så vi ikke kun sidder inden for i klasselokalet og har teori hele dagen. Vi lærer mere af at komme ud og være praktiske. At komme ud at se det, vi skal arbejde med,« siger Jonas Andersen Domdal, HTX-elev i 2.V på Viden Djurs i Grenaa.

Et team af ingeniører ved Dansk IngeniørService (DIS) har udviklet sø-robotten, og under besøget ved søen gav Steffen Buck-Hansen, projektleder og ingeniør i DIS, eleverne et indblik i design, udvikling og programmering. Elevernes besøg ved søen er en del af virksomhedscasen "Design en sø-robot". En case udviklet i et samarbejde mellem Naturvidenskabernes Hus og DIS med det formål at give gymnasieelever indblik i, hvordan deres fag kan bru-

ges uden for klasseværelset og at inspirere dem til at vælge en uddannelse og karriere inden for naturvidenskab og teknologi.

Forskningsprojektet i Ormstrup Sø er ikke kun forbeholdt forskere og andre fagpersoner. Også børn og unge får indblik i arbejdet, der kortlægger og undersøger søen. 2.V fra Viden Djurs er blandt dem, der har set sø-robot, måleapparater og geotubes fyldt med sediment med egne øjne.

Undervisning for alle

Johnny Christensen er lærer i 2.V og prioriterer at tage sine elever med ud af klasselokalet. Ifølge ham kan virksomhedscasen med DIS og besøget ved Ormstrup Sø rumme alle klassens elever, selvom de har forskellige studieretninger.

»Der er ikke nogen af mine elever, der ikke vil have godt af det her forløb. Der er noget for de biologi-interessererede med fosfor-problematikken, og udvikling og programmering

af robotten er oplagt i teknologifaget,« siger han.

Netop inspiration til uddannelse og karriere er noget af det, Jonas Andersen Domdal fremhæver som en gevinst ved at komme ud og møde en ingeniør som Steffen Buck-Hansen.

»Vi snakker en del internt i klassen om, hvad vi kunne tænke os. HTX er meget rettet mod uddannelser som ingeniør, arkitekt eller læge. Det er rart at komme ud og fysisk se, hvad man kan arbejde med, i stedet for bare at læse beskrivelser på universiteternes hjemmesider,« siger Jonas Andersen Domdal.

Efter besøget ved Ormstrup Sø har eleverne med Fable-robotter og målinger i søer omkring gymnasiet arbejdet videre med virksomhedscasen "Design en sø-robot". Som en del af casen har de mulighed for at præsentere deres løsningsforslag for DIS og efterfølgende få feedback. ■



Forfatter



Lotte Frank Andersen er kommunikationskonsulent og journalist i Naturvidenskabernes Hus lfa@nvhus.dk

Virkelighedsnære cases til gymnasier

Naturvidenskabernes Hus står for formidlingen af Ormstrup Sø-projektet og har udviklet cases til gymnasier i hele landet. De indeholder film, problemstillinger, materialebank og forløbsplan og henvender sig til STX og HTX i fagene kemi, biologi, naturgeografi og teknologi. Alle cases kan hentes via QR-koden.



HAR DU ELEVER, DER SKAL UDFORDRES?

—
De kan lave deres SRP-
eller SOP-forsøg ved Aarhus
Universitet

Læs mere om mulighederne på
nat.au.dk/SRP og
agro.au.dk/SRP



AARHUS UNIVERSITET



Her ses et eksempel på den sygdomsfremkaldende svamp *Metarhizium anisopliae* på et insekt (en rask bille og en inficeret bille med grønne sporer).

Foto: Shutterstock



SMITSOMME SVAMPE TRUER DEN GLOBALE SUNDHED

Sygdomsfremkaldende svampe er en potentiel trussel mod verdens fødevarerproduktion. Især er det et problem, når sådanne svampe skifter fra at smitte én art til en anden, for så kan smitten lynhurtigt brede sig. Netop derfor forsøger danske forskere at undersøge, hvad der skal til, for at et sådant værtsskifte kan ske.

Om forfatteren

Kristian Sjøgren,
videnskabsjournalist.
ksjoegren@gmail.com



**DANMARKS FRIE
FORSKNINGSFOND**
INDEPENDENT RESEARCH
FUND DENMARK

Artiklen er sponsoreret af Danmarks Frie Forskningsfond | Natur og Univers.

Danmarks Frie Forskningsfond dækker alle videnskabelige hovedområder og uddeler hvert år godt 1 mia. kr. til forskningsprojekter baseret på forskernes egne ideer. Danmarks Frie Forskningsfond består af 84 anerkendte forskere udpeget på baggrund af deres høje faglige kompetence. Formand for Danmarks Frie Forskningsfond | Natur og Univers er professor ved Københavns Universitet, Søren Bak. Se mere på www.dff.dk

Hvis du har set HBO-serien *The Last of Us*, så kender du også præmissen for serien, nemlig at hele verden er blevet lagt i ruiner af en patogen svamp, der har fundet ud af at smitte mennesker og dræbt praktisk talt hele verdens befolkning.

Ja, TV-serien er science fiction, men faktisk har den hold i den virkelige verden. Der findes nemlig millioner af svampe i naturen, og de forsøger hele tiden at finde nye måder, hvorpå de kan inficere nye arter. Det gælder både i planteriget, i insekternes verden og blandt pattedyr. Nogle gange lykkes det svampene, og det kan have katastrofale konsekvenser for dyr, økosystemer og i sidste ende mennesker. Vi mennesker skal nok ikke frygte, at en patogen svamp gør os til zombier lige

foreløbigt, men der er også andre måder, hvorved en patogen svamp kan lede til død og ødelæggelse blandt mennesker. For eksempel eksisterer der den konstante trussel, at patogener svampe begynder at inficere nogle af de afgrøder, som mennesker er afhængige af. Sker det, kan et ukontrolleret udbrud af afgrødesygdom lede til fødevarer-mangel og hungersnød. Det skete blandt andet for omkring 170 år siden, da kartoffelhøsten slog fejl i fem år i træk på grund af en patogen oomycet (en svampelignende mikroorganisme) og blandt andet ledte til, at omkring en million irere døde af sult, mens yderligere en million emigrerede.

Ovenstående baggrund gør også, at der rundt omkring i verden bliver forsket intensivt i at forstå, hvad der skal til, før en patogen svamp

kan springe fra at sprede død og ødelæggelse hos én art til også at kunne gøre det hos en anden. En af de forskere, der er med helt fremme i den forskning, er lektor Henrik Hjarvard de Fine Licht fra Institut for Plante- og Miljøvidenskab ved Københavns Universitet.

I hans laboratorium forsøger forskerne at kortlægge, hvordan en patogen svamp går gennem de forskellige trin i processen mod at kunne smitte et insekt, slå det ihjel og bryde ud gennem dets skal med nye sporer, der er klar til at smitte andre. Forskerne bruger blandt andet "eksperimentel evolution", hvor de skaber nogle kontrollerede betingelser, som de kan studere de naturlige evolutionære processer under. Forståelsen af smittespredning mellem insekter skal gerne gøre forskerne klogere på nogle universel-

le mekanismer for patogene svampes evolution i overgangen mod at være en trussel mod nye arter.

»Vi kender kun alt for godt til virus, der springer fra en dyreart til en anden – og til også at kunne smitte mennesker. Det så vi med blandt andet COVID-19, der efter springet endte med at slå millioner af mennesker ihjel. Svampe udvikler sig ikke lige så hurtigt som virus, men de kan alligevel være farlige for mange af de dyr og planter, som vi er afhængige af. Derfor er det vigtigt at forstå, hvad der skal til, for at de skifter fra at smitte den ene vært til at smitte den anden,« forklarer Henrik Hjarvard de Fine Licht.

Patogener: Sygdomsfremkaldende organismer

Når vi taler om patogener, taler vi om organismer, der kan smitte andre organismer, gøre dem syge og slå dem ihjel. Patogener kan man typisk opdele i virus, bakterier, svampe og parasitter. Et kendetegn ved patogener er også, at de ofte er meget selektive i, hvad de kan smitte, og hvad de ikke kan. Derfor kan mennesker – for det meste – ikke blive syge af patogener, der kan smitte aber, køer, hunde, fisk eller insekter. Dyrene kan heller ikke blive smittet med de patogener, der kan gøre os mennesker syge.

Årsagen til denne manglende evne til at smitte mellem arter er egentlig meget simpel. For at et patogen effektivt skal kunne smitte et menneske, skal de være tilpasset til netop at kunne trænge ind i vores celler gennem for eksempel receptorer på overfladen af dem og derefter inde i vores celler angribe eller overtage forskellige cellulære signalveje. Både receptorer på overfladen af vores celler og signalvejene i cellerne er unikke for hver art, og derfor kan som eksempel en bakterie, der kan udnytte en receptor på overfladen af en menneskecelle, ikke komme ind i cellerne hos en kat eller hund. Receptorerne til at inficere cellerne er der simpelthen ikke.

Ovenstående er dog en sandhed



Når patogener udvider værtsspektret kan det gå rigtig galt

Patogener, der kan springe fra at sprede død og ødelæggelse hos én art til også at kunne gøre det hos en anden, er ikke kun begrænset til mennesker og andre pattedyr, men forekommer også blandt planter og insekter og kan have alvorlige konsekvenser for økosystemer, landbrug og sundhed. Kendte eksempler fra planteverdenen er for eksempel kartoffelskimmel, der er forårsaget af *Phytophthora infestans*, og den hollandske elmesyge som er forårsaget af *Ophiostoma ulmi*.

Kartoffelskimmel stammer oprindeligt fra Sydamerika, hvor den inficerede vilde slægtninge til kartoffelplanten. I det 19. århundrede blev kartoffelskimmel ved et uheld introduceret til Europa. Her blev kartoffelplanter, som ikke var resistente, inficeret, hvilket førte til den store irske kartoffelhungersnød fra 1845 til 1852. Katastrofen resulterede i millioner af dødsfald og massiv emigration fra Irland.

Den hollandske elmesyge forårsages af svampen *O. ulmi*, der oprindeligt kun inficerede nogle få træarter. I 1920'erne blev svampen spredt og begyndte at inficere europæiske og nordamerikanske elmetræer. Svampen har ødelagt millioner af elmetræer, hvilket har haft en betydelig økologisk og æstetisk indvirkning på landskabet.

Begge disse eksempler skyldes patogene svampe, der utilsigtet bliver spredt til nye geografiske områder. Her er svampene stødt på nye værtsarter, som ikke er i stand til modstå en infektion. Geografisk spredning er dog ikke altid nødvendig for, at et patogen udvider værtsspektret.

Fra menneskets verden kan man finde mange patogener, der oprindeligt smittede andre arter, men tog springet til også at smitte mennesker (så kaldte zoonoser). Det gjaldt for eksempel HIV, der oprindeligt kun smittede chimpanser, fugleinfluenza, der menes at stå bag den spanske syge, og så selvfølgelig COVID-19.

med modifikationer. Patogener udvikler sig nemlig hele tiden, og det vil sige, at et patogen, der kan smitte flagermus, chimpanser eller fugle, godt kan tilpasse sig evolutionært til også at kunne smitte mennesker. Lykkes det, kan resultatet være COVID-19, HIV eller fugleinfluenza.

Samme problematik er relevant blandt de patogene svampe, der inficerer insekter eller afgrøder. Her kan man for eksempel forestille sig et patogen, der som udgangspunkt kun kan smitte hvepse, udvikler evnen til at smitte honningbier, hvilket kan lede til massedød blandt en

Kartoffelskimmel forårsaget af den svampelignende Oomycet *Phytophthora infestans*.
Foto: Shutterstock



↑ Melbiller (*Tenebrio molitor*) er lette at holde i laboratoriet og bruges som kunstig ny værtsart i forsøgene med eksperimentel evolution af patogene svampe. Foto: Shutterstock

← Almindelig vandregreashopper (*Locusta migratoria*) inficeret med *Metarhizium acridum*. Foto: Dinah Parker.

art, som er meget vigtigt for mere end bare produktionen af honning. Bier spiller også en essentiel rolle i bestøvningen af for eksempel frugttræer og buske. Taler vi om patogene svampe, der kan smitte planter, kan man frygte/forestille sig, at en svamp, der skaber død og ødelæggelse blandt specifikke vilde planter, udvikler evnen til at smitte hvede, ris eller majs.

»Problemet med de patogene svampe er også, at vi typisk først finder svampene, når de er problematiske og allerede har lært at smitte afgrøderne. Der er skiftet fra den ene vært til den anden sket, hvilket også betyder, at vi rent forskningsmæssigt kun kan se resultatet af

værtsskiftet, men ikke hvordan det er sket. Hvis vi gerne vil kunne forudsige og forhindre, at patogene svampe springer fra den ene vært til en anden, eller i hvert fald være forberedte på det, kræver det, at vi har en bedre forståelse af de evolutionære processer og de trin, som patogenet skal igennem,« forklarer Henrik Hjarvard de Fine Licht.

Smitter melbiller med patogen svamp fra græshopper

Og så er vi fremme ved Henrik Hjarvard de Fine Lichts egen forskning. Den går nemlig ud på at forstå de patogenes svampes udvikling fra at være en trussel mod en art til også at være en trussel mod en anden. Henrik Hjarvard

de Fine Licht laver sin forskning i insekter som et modelsystem, men opdagelserne er lige så relevante for afgrøder, som de er for græshopper, biller og bier. Fordelen ved at lave forskningen i insekter er til gengæld, at deres livscyklus er meget hurtigere, og at forskerne kan have flere hundrede insekter i små kasser uden meget pleje. Ville de undersøge patogene svampes værtsskifte i afgrødeplanter, skulle de plante tusindvis af små planter, vente på at de voksede op og blev klar til at lave frø, som kunne blive til nye planter. Afhængigt af arten kan den proces tage flere måneder. Med insekter kan forskerne komme gennem hele livscyklussen på få uger.

Eksperimentel evolution

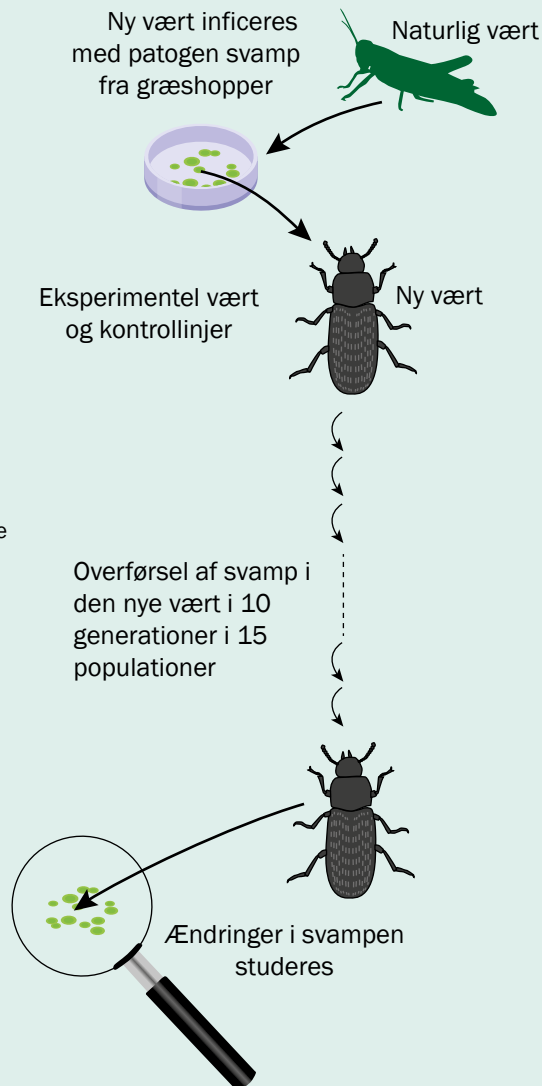
Eksperimentel evolution er en videnskabelig metode, der bruges til at studere evolutionære processer i realtid ved at observere, hvordan organismer ændrer sig over mange generationer under kontrollerede forhold. Denne tilgang giver forskere mulighed for at teste hypoteser om naturlig selektion, mutationer, genetisk drift og andre evolutionære mekanismer ved at manipulere miljøet og observere de resulterende ændringer i populationer.

Et klassisk eksempel på eksperimentel evolution er Richard Lenskis langvarige eksperiment med colibakterier, som begyndte i 1988. Richard Lenski og hans kollegaer startede med 12 identiske populationer af colibakterier og har siden opretholdt disse populationer under konstante forhold, hvor bakterierne vokser og deler sig hurtigt. Ved at nedfryse prøver af populationerne over tid kan forskerne "genoplive" tidligere generationer og sammenligne dem med nyere generationer. Dette eksperiment har givet værdifulde indsigter i evolutionære processer, for eksempel hvordan bakterier udvikler nye metaboliske funktioner og tilpasser sig deres miljø over tusinder af generationer.

Eksperimentel evolution er ikke begrænset til mikroorganismer. Forskere har også anvendt metoden på andre organismer, både dyr og planter samt selv kunstige systemer som digitale organismer i computermodeller. Ved at udsætte populationer for forskellige selektionstryk, for eksempel ændringer i temperatur, tilgængeligheden af næringsstoffer eller tilstedeværelsen af rovdyr, kan forskere observere, hvordan populationer tilpasser sig, og hvilke genetiske ændringer der driver disse tilpasninger.

Forskere kan også undersøge, hvordan et patogen tilpasser sig til at kunne inficere en ny vært og derigennem springe fra at være farlig for én art til også at være det for en anden.

En af fordelene ved eksperimentel evolution er, at den gør det muligt at gentage forsøg og verificere resultater under



kontrollerede betingelser. Dette adskiller den fra naturlige observationer af evolution, hvor miljøfaktorer ofte er komplekse og vanskelige at kontrollere. Eksperimentel evolution har derfor været afgørende for at forstå fundamentale principper i evolutionær biologi og for at teste teorier om, hvordan arter udvikler sig over tid.

I forskningsarbejdet inficerer Henrik Hjarvard de Fine Licht og kollegaer melbiller med en patogen svamp, som ellers kun smitter græshopper. De patogene svampe fungerer på den måde, at svampesporer lander på insektets krop, hvorefter de begynder at lave svampetråde (hyfer), som borer sig ned gennem insektets hårde skal. Når svampen er trængt gennem skallen, begynder svampen at vokse inde i insekterne, hvor de danner en masse nye

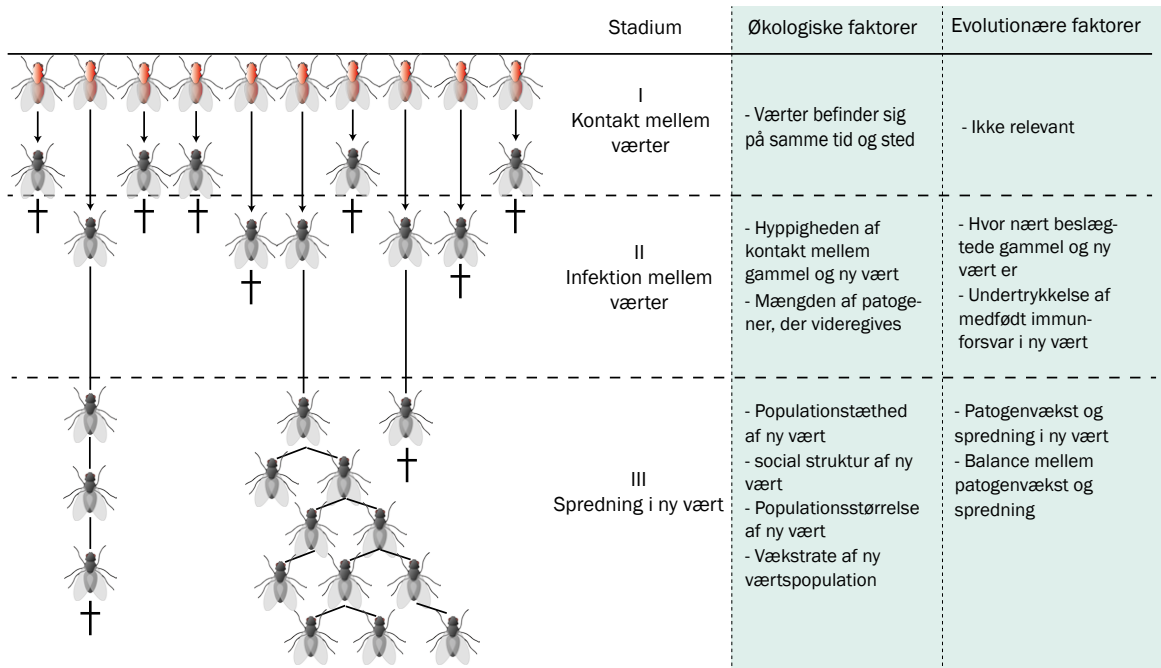
svampeceller, som på et tidspunkt trænger ud gennem insektet, hvor de sætter sig som en masse sporer, som andre insekter kan komme i kontakt med og derved sprede smitten. Behøver jeg at skrive, at insekterne stiller træskoene på et tidspunkt undervejs i svampens destruktive hærgen?

I forsøgene laver forskerne først en unaturligt høj koncentration af svampesporer, som de smører på

melbillerne. Det gør de under kontrollerede betingelser med blandt andet høj luftfugtighed, hvilket svampene godt kan lide. Efterfølgende holder de øje med, om nogle af billerne bliver inficeret med svampen, altså at springet fra den ene vært til den anden lykkes.

Eksperimentel evolution

Henrik Hjarvard de Fine Licht fortæller, at hele skiftet fra at kunne inficere den ene vært til den anden



Stadier i et værtsskift. Skematisk oversigt af et patogen, der naturligt inficerer røde fluer, men kommer i kontakt med en ny vært, mørkegrå fluer. Hvis patogenet ikke kan inficere den nye vært, vil det dø ud allerede i det første stadie, her vist med et kors. Hvis patogenet kan inficere den nye vært, men ikke kan fortsætte sin spredning i den nye vært, vil den dø ud i andet stadie. Til højre er vist eksempler på relevante økologiske og evolutionære faktorer for de tre stadier.

Om forskeren

Henrik Hjarvard de Fine Licht har altid haft en passion for interaktionen mellem insekter og svampe. Tidligere arbejdede han med interaktioner mellem myrer, termitter og svampe. Både svampedyrkende myrer og termitter er kendt for at leve i mutualistisk symbiose med svampe, som de dyrker i svampehaver og passer godt på. Det er godt for svampene, der bliver passet og plejet, og det er godt for myrerne og termitterne, der på den måde har adgang til føde hele tiden.

For ti år siden ændrede Henrik Hjarvard de Fine Licht dog sin forskningsinteresse i retning af insektpatologi, og hvordan parasitter påvirker insekters adfærd. Passionen er i dag drevet af et ønske om at forstå principperne indenfor evolutionær økologi og samspillet mellem organismer. Det handler om at forstå parasiternes tilpasning til den enkelte vært, og hvorfor de ikke bare kan inficere alle mulige arter. Ydermere ønsker Henrik Hjarvard de Fine Licht at forstå de parasitiske svampes komplekse livscyklus, hvor nogle ud over at kunne inficere insekter og slå dem ihjel også kan



leve i symbiose med blandt andet planter.

Henrik Hjarvard de Fine Licht er uddannet i biologi fra Københavns Universitet og skrev også sin ph.d.-afhandling i evolutionær biologi ved universitetet. Efterfølgende blev han ansat som postdoc ved Lunds Universitet i to år, hvorefter han vendte hjem til Københavns Universitet igen til først til en postdoc-stilling, derefter adjunkt og nu lektor.

foregår i trin. Først og fremmest skal svampe og insekter i det hele taget befinde sig i det samme geografiske område på samme tid. Det nytter som eksempel ikke noget, at et patogen i myg fra Alaska godt kan smitte fluer i Australien, for det er usandsynligt at de to arter vil komme i kontakt med hinanden.

For det andet skal svampen udvikle evne til overhovedet at trænge ind i det nye insekt, og det kræver, at den finder nye strategier for det, blandt andet at kunne identificere nye receptorer, der kan benyttes i angrebet. Så skal svampen tilpasse sig, så den kan leve i det nye insekt, og til sidst skal svampen udvikle en mekanisme til at kunne bryde ud gennem insektet igen og lave sporer, der kan smitte andre af samme type insekt.

Succesen af denne sidste del kan blandt andet være afhængig af biologiske forskelle mellem de to insektarter, som svampen springer imellem. Den ene art lever måske i store grupper, mens den anden lever mere som ermitter. Det har betydning for, hvor let det er at bringe smitte mellem de enkelte individer. Indenfor forskningen hed-



Endnu et eksempel på et svampeinficeret insekt, her vandregræshoppe (*Locusta migratoria*) inficeret med *Metarhizium acridum*.
Foto: Dinah Parker.

der den type forsøg "eksperimentel evolution", hvor forskere skaber nogle kontrollerede betingelser.

»Vi har lige nu svampe, som vi har haft gennem 10 serielle passager, altså smitte fra det ene insekt af samme art til det andet og så videre. Det er et skridt på vejen, men 10 passager er i evolutionær sammenhæng stadig meget lidt. Samtidig kan vi dog se, at svampene bliver bedre og bedre til at smitte melbillerne. Det gør, at vi nu kan sammenligne hvert trin i udviklingsprocessen og se, hvad der er sket i svampen mellem hvert trin fra første til sidste trin, altså hvordan har svampen tilpasset sig? Det gør vi ved både at undersøge svampenes fysiologi, genetik og epigenetik« siger Henrik Hjarvard de Fine Licht.

Han uddyber, at vi i dag og i fremtiden ser og vil se mange flere skifte i værtsorganismer for forskellige patogener, fordi vi mennesker har skabt en verden, hvor både insekter og afgrøder bliver flyttet rundt på kloden med en rasende fart. Det betyder, at de økologiske barrierer som tid og sted bliver nedbrudt og muliggør værtskifte, der ikke var mulige før i tiden.

»Vi vil gerne blive klogere på, hvad der kræves i de enkelte trin i udviklingen. Skal svampene udvikle nogle helt bestemte mutationer, og vi derfor ser de samme mutationer i alle de svampe, som vi arbejder med, eller kan de udvikle forskellige måder til at smitte melbillerne på?« siger Henrik Hjarvard de Fine Licht.

Truslen fra svampe

Det samlede forskningsarbejde skal gerne udmunde i en bedre forståelse af, hvad det kræver for patogene svampe at lave et værtskifte. Formålet er både at blive klogere på mekanismerne på det grundvidenskabelige niveau, men også at kunne forudsige det i fremtiden og på den måde være på forkant, inden en patogen svamp lægger hele verdens produktion af hvede eller majs ned.

Den samlede viden kommer også til at være relevant i fremtiden, hvor blandt andet klimaforandringer kommer til at skabe nye og måske mere gunstige betingelser for svampe, der er på jagt efter nye værter at inficere. I takt med, at klimaforandringerne tager mere og mere fat, er forskere ret overbeviste om, at det vil skabe flere afgrødesygdomme, som

kan være en trussel mod den globale fødevarerituation. På den anden side af mønten ønsker flere og flere mere økologisk fødevarerproduktion med mindre forbrug af pesticider til blandt andet at bekæmpe patogene svampe. Større risiko for spredning af patogene svampe rimer dårligt på mindre forbrug af pesticider.

»De seneste år er vi blevet opmærksomme på, hvor hurtigt evolutionen kan gå, og hvor hurtig nye patogener arter enten direkte eller indirekte kan true menneskers helbred. Vi er nødt til få en bedre forståelse af, hvordan patogener bliver til en trussel mod os ved at skifte vært. Derudover står vi også med et andet problem, og det er, at svampe, ligesom bakterier, udvikler resistens mod de midler, som vi har til at bekæmpe dem med. Netop når det kommer til svampemidlerne, benytter vi faktisk ofte de samme midler til at bekæmpe svampe i afgrøder, som vi bruger i mennesker. Det betyder, at der altid er en risiko for, at hvis en patogen svamp begynder at smitte mennesker eller livsvigtige afgrøder, kan vi stå i en situation, hvor vi ikke har noget effektivt at bekæmpe den med,« siger Henrik Hjarvard de Fine Licht. ■

Forfatterne



Rasmus Ejrnæs er professor i biodiversitet ved Institut for Ecoscience, Aarhus Universitet. Han forsker i betydningen af menneskers arealanvendelse for alle de andre arter, vi deler økosystemerne med. Han formidler aktivt som debattør, foredragsholder, ekspert og forfatter. rasmus@ecos.au.dk



Hans Henrik Bruun er professor i økologi ved Biologisk Institut, Københavns Universitet. Han forsker i samspil mellem planter, svampe og dyr, i biodiversitet og i naturbevaring og naturgenopretning. Hans forskning bliver flittigt formidlet ved foredrag og gennem artikler i aviser og blade. HHBruun@bio.ku.dk



Anne Eskildsen har en ph.d.-grad i biologi fra Aarhus Universitet og arbejder i dag med forskning, rådgivning, undervisning og formidling om biodiversitet og naturgenopretning. Hun er medstifter af virksomheden Naturrådgiverne Eskildsen & Buur. Hun er også daglig leder af projektet Danmarks Dagsommerfugle, der står for den nationale overvågning af dagsommerfuglens bestandsudvikling. anne@naturraadgiverne.dk



NATUREN KAN BLIVE VILDERE, END VI DRØMMER OM

Den danske natur er i dag en voldsomt forarmet udgave af, hvad den engang har været. Skal vi væk fra den triste placering som det naturfattigste land i verden, kræver det både plads, flere store planteædere og en lovgivning, der ikke arbejder mod naturen.

En af de udfordringer, man rammes af, når man bliver uddannet til biolog, er, at en gåtur i den danske natur aldrig mere bliver det samme. Den amerikanske økolog Aldo Leopold har beskrevet fænomenet meget præcist (vores oversættelse): »Straffen for en biologisk uddannelse er, at man dømmes til at leve alene i en verden af naturødelæggelse, som er ganske usynlig for andre.«

Som biolog ender man let som trist og bitter ledsager på en kærestetur ud i den danske natur, for når man én gang har fået øjnene op for, hvor forarmet naturen er, er det nærmest umuligt at nyde de sølle levninger. Kigger man nøjere efter, er naturen i Danmark ikke rigtig vild nogen steder. Det er let at se de skarpe kanter ved foden af bakkerne, som ploven har efterladt, og man kan se, hvordan de stejle bakkesider gror til, fordi vi har tømt økosystemerne for græssende dyr.

I skovene aflæser man lynhurtigt skovdyrkningens konsekvenser: Dyb skygge, træerne plantet i rækker, drængrøfterne, manglen på blomster, og man ser de afskårne stubbe, hvor der i stedet kunne have tronet kæmpestore veterantræer.

Men de fleste ser det ikke. I fagsprog taler man om begrebet "shifting baseline": Vi indstiller os kort sagt på, at det, vi kender fra barnsben, er det normale. Derfor sker der en langsom forskydning af, hvad vi kollektivt betragter som "god" eller "normal" natur. Og derfor kan det for de fleste mennesker, der ikke har en biologisk uddannelse, være svært at forstå, at den natur, vi kender i dag, er en voldsomt forarmet udgave af, hvad der har været engang – og hvad der igen kan blive.

Forvalter vi naturen rigtigt?

Vi lever dog nu i en tid, hvor der er en længsel efter vild natur og en stigende bekymring for den

globale biodiversitet. Både i FN og EU taler man i dag om, at 30 % af landarealet og havterritoriet skal reserveres til beskyttet og strengt beskyttet natur. Til sammenligning kan kun 1,6 % betragtes som beskyttet natur i Danmark, og strengt beskyttet natur har vi slet ikke. I EU taler man også om, at det er nødvendigt at genoprette naturen, hvis tabet af arterne og deres levesteder skal standses. Hvor vild natur længe har været en integreret del af amerikansk og afrikansk naturbevaring, ser det ud til at være en erkendelse, der først lige er ankommet til Europa.

Efterhånden som spørgsmålene begynder at dukke op i mailbokse hos forskere og rådgivere, bliver det klart, at det slet ikke er så let at komme tilbage til den vilde naturs "tabte paradys". For det første skal man gøre sig klart, hvad det vil sige, at naturen er vild og effektivt beskyttet. For det andet skal man



← Det er i dag kun forsvindende få områder i Danmark, hvor biodiversiteten har førsteprioritet. Knudshoved Odde på Sydsjælland er et af dem. På et 300 hektar stort område, hvor der før var dyrkede marker, er naturens processer nu genoprettet. I dag græsser her exmoorponyer og gallowaykvæg, vilde græslandsplanter er genindført, og gamle dræn er fjernet, så vandet igen har frit løb i landskabet. Alt sammen til glæde for biodiversiteten.



Foto: Anne Eskildsen.

Flere end 340 dyre- og plantearter er uddøde i Danmark siden 1850, fordi deres levesteder er ødelagt eller helt forsvundet. Perlemorrandøje er repræsentant for mindst ti danske dagsommerfuglearter, som var knyttet til skovlysninger og som er uddøde i løbet af de seneste 100 år. Den fløj i lysåbne egekrat indtil midt-1990'erne, men forsvandt på grund af tilgroning og konvertering til plantageskov.

vide, hvad der skal til for at genoprette ægte vild natur.

Det nationale overvågningsprogram i Danmark, NOVANA, hvor naturtyperne overvåges i prøvefelter på faste overvågningsstationer, dokumenterer, at arterne og deres levesteder er i stadig tilbagegang. Den danske rødliste over truede og næsten truede arter viser samme kedelige tendens: De mange sjældne arter bliver mere truede, som tiden går.

Selvom vi bruger i nærheden af 200 millioner kroner årligt på at pleje naturen og i tilgift gennemfører storstilede naturgenopretningsprojekter – ofte med EU-støtte – har vi altså ikke formået at sikre en tilstrækkelig god tilstand af den natur, vi har ansvaret for at beskytte. Derfor er der opstået berettiget tvivl, om hvorvidt den måde, vi forvalter naturen på i dag, er den rigtige.

Hvis vi skal gøre det bedre, har vi brug for oplyste målforestillinger. Vi har brug for at forstå, hvordan naturlige økosystemer fungerer og har fungeret i millioner af år, før vi mennesker omdannede dem til dyrkede marker og plantageskove og gav os til at kontrollere og styre de naturlige processer i økosystemerne. Når vi leder efter sådanne målforestillinger, kigger vi typisk tilbage i tiden. Men hvis man skal tage opgaven seriøst, er det ikke nok at kigge tilbage på Morten Korch-filmene eller landskaber fra guldaldermaleriernes tid, for menneskets påvirkning af økosystemerne startede langt tidligere end år 1800.

Betydningen af de store pattedyr

Allerede under sidste istid, mens det endnu var koldt i Europa, begyndte vores forfædre at gøre kraftigt indhug i bestandene af store vilde planteædere på konti-

nentet. Da istiden sluttede, var de største dyr praktisk taget udryddet gennem jagt, hvilket betød at faunaen i Holocæn (som vi kalder den geologiske periode fra istidens slutning til i dag) fra starten var fattig på store pattedyr sammenlignet med de forudgående millioner af år. Uden mennesker er det meget sandsynligt, at Europas fauna i nutiden ville have rummet mammut og skovnæsehorn, steppenæsehorn, skovnæsehorn, flodhest, kæmpebjort, huleløve, vildhest og urokse. Vildhest og urokse holdt stand langt ind i Holocæn, men også de to arter regnes i dag som uddøde, og også her er det menneskets jagt, som er den direkte årsag.

Græsning er en af de naturlige processer, som er nødvendige, hvis vi skal bevare biodiversiteten, og nyere forskning peger på vigtigheden af, at græsningen ligner den naturlige græsning i et økosystem. Naturlig græsning indebærer, at



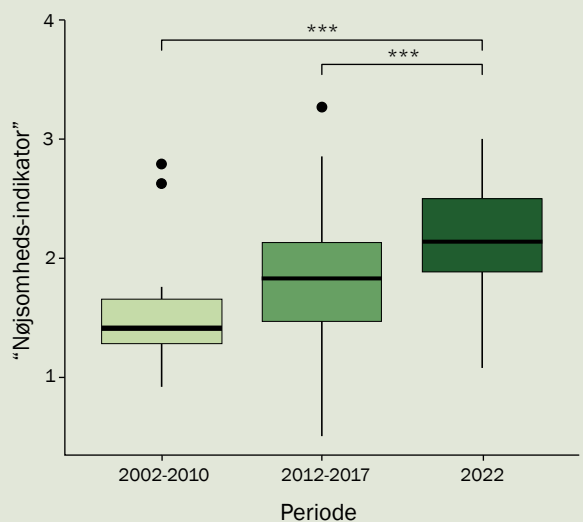
↑ Et af de første og mest omdiskuterede rewildingsprojekter i Europa er foregået i Holland i det inddæmmede område Oostvaardersplassen på 5.000 hektar, hvor man har udsat krondyr, hekkvæg og konik-heste og ladet dem leve så vildt som muligt.

Foto: Rune Engelbreth Larsen

Eksempel på virkning af vildgræsning

Spritny forskning har dokumenteret, at vildgræsningen fra 2002 til 2022 har holdt Oostvaardersplassen i Holland lysåbent og medført en gradvis forandring af vegetationen i retning af tørt græsland med mere nøjsomme og konkurrencesvage plantearter.

Figuren viser udviklingen over tid for en indikatorværdi, der er et mål for en nøjsom livsstrategi af planterne i vegetationen. Værdierne er beregnet som gennemsnittet af de plantearter, som forekom i prøvefelterne, og figuren er et boksplot, som viser medianen (den vandrette strek). De lodrette streger viser udstrækningen af datapunkter, dog maksimalt 1,5 x intervallet mellem 25 % og 75 % kvartilerne. Punkter som ligger uden for dette interval vises som outliers på figuren. Stjernerne øverst angiver, at der er statistisk signifikant forskel på perioderne, hvor 3 stjerner svarer til en p-værdi <0,001.



Figur efter Ejrnæs, D.D. et al (2024).

dyrene skal være store nok og lige så talrige, som fødegrundlaget giver mulighed for. Det er nemlig først og fremmest fødemængden, som regulerer mængden af planteædere i et naturligt økosystem, ikke rovdyrene. Rovdyrene medvirker til, at naturlige økosystemer vil være domineret af store og kæmpestore planteædere, fordi de ikke reguleres så hårdt af rovdyrene, som mindre dyr gør. Vi skal altså stræbe efter økosystemer, hvor hjorte, geder og får spiller en mindre rolle sammenlignet med bison, hest og okser. Desuden er

det ikke naturligt, at dyrene fodres; de skal selv finde deres føde året rundt i økosystemet.

Kampen om pladsen

De store planteædernes effekt er ikke den eneste proces, som kræver genopretning, når naturen skal være vildere. Vi mennesker har nemlig også afvandet landskaberne med drænrør, grøfter og pumpestationer, og vi har beskyttet kysterne mod erosion, sandflugt og oversvømmelser. Vandkredsløbet er grundlaget for naturlige

vandløb, søer, sumpskove, moser og enge, og bølgerne og blæstens ommøblering af kysterne er grundlaget for strandenge og klitter. En lidt overset, men ikke mindre betydningsfuld, proces er planternes vækst. Når planter vokser frem i et økosystem, blomstrer og sætter frugter, og når træerne vokser sig gamle, med furet bark, hulheder og dødt ved, skaber det talrige levesteder for de megadiverse grupper af svampe og insekter. Hele denne naturlige opbygning og diversificering af organisk kulstof er en af de

vigtigste naturlige processer. Men også her har mennesker været på færde, fordi vi alle steder har favoriseret vores markafgrøder, tømmerstokke og prydplanter i stedet for at give plads til mangfoldigheden af vilde planter og træers forfald.

Hvis man vil sætte dyrene, vandet, havet, blæsten og plantevæksten fri, er der brug for store sammenhængende naturområder. Plads er nødvendigt, fordi økosystemernes naturlige processer kolliderer med interesser i byer, landbrug og skovbrug, hvor oversvømmelser, markskader, trafikale problemer og sandflugt er uønskede. Desuden kræver det ret store områder, hvis bestande af dyr skal kunne klare sig selv året rundt uden pasning.

Der er en bevægelse i gang

I forskningsfeltet bevaringsbiologi ("conservation science") er det blevet erkendt, at vild natur er en uomgængelig del af enhver national bevaringsstrategi, ved siden af – ikke i stedet for – de tiltag for biodiversitet, man kan gøre i dyrkningslandskaber og byer. I den internationale litteratur kan man se det på stærkt stigende interesse for at studere effekterne af rewilding med store landlevende pattedyr. Også naturpolitikken bevæger sig netop nu i retning af en bevidst målsætning om vildere natur. I de politiske visioner og planer kan man aflæse tendensen, for eksempel i EU's biodiversitetsstrategi, hvor vægten i stigende grad ligger på stærk naturbeskyttelse og effektiv naturgenopretning. I Danmark kan man se det på de politiske planer om at oprette naturnationalparker, som skal være beskyttede naturområder uden landbrug, skovbrug og jagt, hvor der bliver plads til at store planteædere kan leve mere frit og naturligt.

Man kan også set det ved, at der rundt omkring i Danmark etableres private og fondsdrevne naturprojekter, som bygger på genudsætning af store planteædere bag hegn – ikke som værktøjer til at opnå et bestemt udseende af landskabet,



Ikke mange mennesker er bevidste om, at elefanter er hjemmehørende i europæiske økosystemer. Men elefanter har en millionårig historie i Europa. I 2008 gennemførte en flok biologer et lille forsøg med at lade tre cirkuselefanter "græsse" i dagtimerne på Eskebjerg Vesterlyng, et værdifuldt naturområde i Vestsjælland. Elefanterne faldt hurtigt til – her er de gået i lag med et skovæbletræ.

Foto: Rasmus Ejrnæs

men som et mål i sig selv. Det nye er, at dyrene betragtes som en del af økosystemerne og forvaltes med så lille menneskelig indgriben som muligt indenfor lovens rammer. Det er spændende, at appetitten på vild natur er så stor, at private aktører vil skyde penge i pladskrævende vild natur, uden at få andet igen end glæden ved at opleve den vilde og unyttige naturs genkomst.

Behov for en naturlov

Der er mange udfordringer ved en vildere naturforvaltning, og en af de største er utvivlsomt, at det er svært for os mennesker at slippe tøjlerne. Det ligger dybt i menneskesindet at kontrollere naturen. Derfor kan det være svært at lade naturen gå sin gang og lade de naturlige processer forme økosystemet spontant og uforudsigeligt. En forskergruppe på Aarhus Universitet under ledelse af artiklens førsteforfatter, gennemførte en kortlægning af processer knyttet til hydrologi, græsning og kystdynamik samt graden af naturbeskyttelse mod de vigtigste trusler (Dansk Naturindikator fra 2018-2021). Projektet viste, at der endnu er langt igen, før vi

har vild og effektivt beskyttet natur i Danmark.

Ud over formidling af viden om naturen er der også brug for at revidere en forældet dansk lovgivning. Flere steder i den gældende lovgivning er vild natur nærmest forbudt. Skovloven forbyder græssende dyr i skovene, vandløbsloven kræver, at vandløbene oprensnes, så de kan aflede vand fra dyrkningslandskabet, dyrevelfærdsloven forvaltes på en måde, som fratager dyrene vigtige aspekter af deres frihed som vilde dyr, og mark og vejfredsloven forbyder dyrene at krydse offentlige veje – selv ganske små grusveje. Nå ja, og en art som vildsvinet bekæmpes nidkært af staten, selvom arten både er hjemmehørende, truet og en nøgleart i danske økosystemer. Hvis vi virkelig ønsker vild natur i Danmark, så bør lovgivning afspejle dette ved, at arealer, som disponeres til vild natur, fritages fra produktionsfremmende lovgivning og i stedet beskyttes af en dedikeret naturlov, som sikrer naturen en effektiv og varig beskyttelse. Kun sådan kan vi komme væk fra sidstepladsen som det naturfattigste land i verden. ■

Artiklen bygger på forfatterens foredrag Fortidens og fremtidens vilde natur i serien Offentlige Foredrag i Naturvidenskab den 12. november 2024.

Yderligere læsning
Bladt, J. et al (2021). Dansk Naturindikator – en national kortlægning. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. naturindikator.dk

Eskildsen, A. E., & Holbeck, H. B. (2024). *Genfortryllet: vejen til mere biodiversitet på din landejendom*. Aarhus Universitetsforlag.

Svenning, J.-C., R. T. Lemoine, J. Bergman, R. Buitenwerf, E. Le Roux, E. Lundgren, N. Mungí, and R. Ø. Pedersen. 2024. The late-Quaternary megafauna extinctions: patterns, causes, ecological consequences, and implications for ecosystem management in the Anthropocene. Cambridge Prisms: Extinction 2:1-68.

Nygaard, B. et al. (netpublikation): NOVANA. au.dk. Rapportering af NOVANA's delprogram for terrestriske naturtyper og arter. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. www.novana.au.dk.

Fredshavn, J. et al (2019). Bevaringsstatus for naturtyper og arter – 2019. Habitatdirektivets Artikel 17-rapportering. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 52 s. Videnskabelig rapport nr. 340 dce2.au.dk/pub/SR340.pdf

Moeslund, J.E. et al (2023). Den Danske Rødliste. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. www.redlist.au.dk

Ejrnæs, D.D., Olivier, B., Bakker, E.S., Cornelissen, P., Ejrnæs, R., Smit, C. et al. (2024) Vegetation dynamics following three decades of trophic rewilding in the mesic grasslands of Oostvaardersplassen. Applied Vegetation Science, 27, e12805. doi.org/10.1111/avsc.12805

FAKTA

Johanne Pontoppidan Tuxen & Mikkel Vuorela: *Hvordan mennesket fik superkræfter – Energiens historie*. Informations forlag 2024. 474 sider, 399,95 kr.



Energiens historie

Siden tidernes morgen har energi sat rammerne for den menneskelige civilisations udvikling. Fra det første bål til drømmen om fusion har menneskets og energiens historie flettet sig tæt sammen. Det er historien om, hvordan mennesket med opfindsomhed og skæbnesvangert vovemod har sprængt alle rammer og skabt en fantastisk civilisation drevet af fossil energi, som har ændret klimaet fatalt. Med videnskaben i ryggen udruller denne nye bogs forfattere, der begge er journalister på Dagbladet Information, historiens store forandringer med energien som prisme. Og viser, at den grønne omstilling kræver noget helt nyt: For første gang i historien skal vi nu trække energikilder fra – og ikke bare lægge til.

FAKTA

Emil Laust Kristoffersen: *Da Livet opstod*. Aarhus Universitetsforlag 2024. 96 sider, 149,95 kr. (99,95 kr. som e-bog).

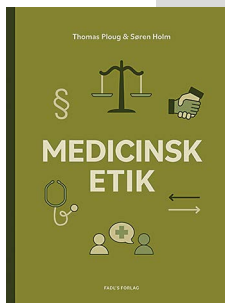


Da livet opstod

I denne nye bog i bogserien Science Faction fra Aarhus Universitetsforlag tager forskeren Emil Laust Kristoffersen læseren med på opdagelse i det store mysterium om livets oprindelse. For omkring 4,6 milliarder år siden drøned to planeter sammen og skabte Jorden. Størknede sten gled rundt som sorte isbjerge i et rødglødende hav af magma, mens meteoritter hamrede ned over Jorden. Ikke ligefrem et ideelt scenarie for livets opståen – eller hvad? Over millioner af år forvandlede brandvarm vanddamp sig drypvis til hav. Livet opstod sammen med hav et, og de ældste tegn på liv er forsteninger, som kommer faretruende tæt på den kaotiske tidsalder. DNA-analyser tegner et slægtskab mellem alt levende, og ved roden af stamtræet findes den sidste fælles forfader til alt liv på vores klode. Men her ender sporet blindt. Vi kan lede dybt i egne celler og forsøge at genskabe livets opståen i laboratoriet for at forstå, hvordan det kunne ske, men får vi nogensinde svaret?

FAKTA

Thomas Ploug og Søren Holm: *Medicins etik*. FADL's forlag 2024. 168 sider, 319,95 kr.

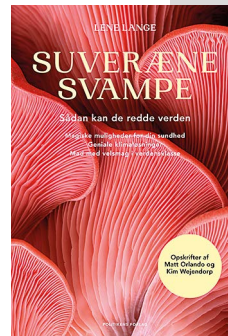


Medicinsk etik

Det lægefaglige arbejde indebærer en indgriben i andre menneskers liv med konsekvenser for både patienten, pårørende, den fagprofessionelle selv og samfundet. I denne bog skriver Thomas Ploug og Søren Holm om de ofte underbelyste etiske emner i den medicinske verden. Bogen giver en indføring i den medicinske etiks principper, pligter og problemstillinger og bevæger sig fra etisk filosofi til etisk beslutningstagen i konkrete dilemmaer som dødshjælp, reproduktionsetik og prioritering i sundhedsvæsenet. Bogen henvender sig især til medicinstuderende og fagprofessionelle, men kan læses af alle interesserede i etik.

FAKTA

Lene Lange: *Suveræne Svampe*. Politikens forlag 2024. 296 sider, 300 kr.



Suveræne svampe

Svampeeksperten Lene Lange indvier i Suveræne svampe læseren i nye sider af svampenes fascinerende verden og alt det, de kan gøre for os. Blandt andet kan svampestoffer beskytte os mod livstruende sygdomme, øge vores psykiske velvære og føre til bedre behandlinger af lidelser i hjernen. De kan blive til nye former for antibiotika, der bekæmper problemet med resistens, og de kan producere mere klimavenlig mad. Bogen er fyldt med overraskende facts og visioner – og masser af gode råd til, hvordan man selv får glæde af svampenes superkræfter. Den indeholder også 36 opskrifter med svampe i hovedrollen udviklet af To af Danmarks pionerer indenfor bæredygtig gastronomi, Matt Orlando og Kim Wejendorp.



Test din viden

Hvad er en exoplanet?

Hvad forstår man indenfor den videnskabelige verden ved begrebet *reproducerbarhed*?

Hvilket fagudtryk bruges til at beskrive den del af kemien, der beskæftiger sig med, hvordan en kemisk reaktion forløber, hvor hurtigt den forløber og hvilke delreaktioner, den består af?

Har du et godt bud på et svar på disse spørgsmål, er du klar til at kaste dig over Aktuel Naturvidenskabs quizzes.

På aktuelnaturvidenskab.dk finder du flere end 80 quizzes om alt fra kvantecomputere til styrken af chili. Alle quizzes tager udgangspunkt i artikler fra Aktuel Naturvidenskab og kan derfor bruges til en hurtig test af, om man har fanget de væsentlige pointer i artiklen.

Alle quizzesne er for nylig lagt over i et nyt system, så de fremstår mere appetitlige. De er nu også organiseret efter overordnet emne (for eksempel Kemi, Geologi eller Fysik & astronomi), så det er let at finde frem til dem, man er mest interesseret i – for eksempel til brug i undervisningen.

Quizzes om Fysik & Astronomi



Quizzesne præsenteres nu med et billede og der er en opdeling på fag.

Se aktuelnaturvidenskab.dk

ABONNEMENTS-SERVICE

Har du fået ny adresse eller ønsker du at bestille et abonnement på bladet?

Kontakt os på telefon:
3036 0662 / 3715 2094
E-mail: abo@aktuelnaturvidenskab.dk

Abonnement kan også bestilles via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

Husk at melde flytning til ny adresse. Vi modtager desværre ikke automatisk besked om din nye adresse.

Til nye abonnenter:

Bestil en intro-pakke med otte helt nye numre plus abonnement i et år (6 numre) for kun 354,- kr. inkl. porto & ekspedition.

OM AKTUEL NATURVIDENSKAB

Styregruppe

- Astrid C. Johansen, kommunikationskonsulent Roskilde Universitet
- Birgitte Lyhne Broksø, kommunikationschef, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- Mikkel Linnemann Johansson, teamleder, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- Poul Nissen, prodekan, Faculty of Natural Sciences, Aarhus Universitet

Eftertryk kun efter aftale. Citat kun med tydelig kildeangivelse. Synspunkter, der fremføres i bladet, kan ikke generelt tages som udtryk for redaktionens holdning.

Layout: Jørgen Dahlgaard

Tryk: Jørn Thomsen Elbo A/S

ISSN: 1399-2309 (papirudgaven), 1602-3544 (web)

Oplag: 9.000



Redaktionsgruppe

- Astrid C. Johansen, Roskilde Universitet
- Birgitte Svennevig, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- Carsten Rabæk Kjær, Aktuel Naturvidenskab
- Jørgen Dahlgaard, Aktuel Naturvidenskab
- Michael Skov Jensen, Københavns Universitet

Redaktion:

Telefon: 3036 0660 (Carsten) / 3036 0662 (Jørgen)

E-mail: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk

Postadresse:

Aktuel Naturvidenskab,
Ny Munkegade 120, Bygning 1520,
DK-8000 Aarhus C

Omslagsfoto:

Foto med havis fra Arktis. Dannelsen og udbredelsen af havis er en klimafaktor. Foto: Shutterstock.

Al henvendelse til:
 Aktuel Naturvidenskab,
 Ny Munkegade 120, 8000 Aarhus C
 E: abo@aktuelnaturvidenskab.dk
 T: 87152094

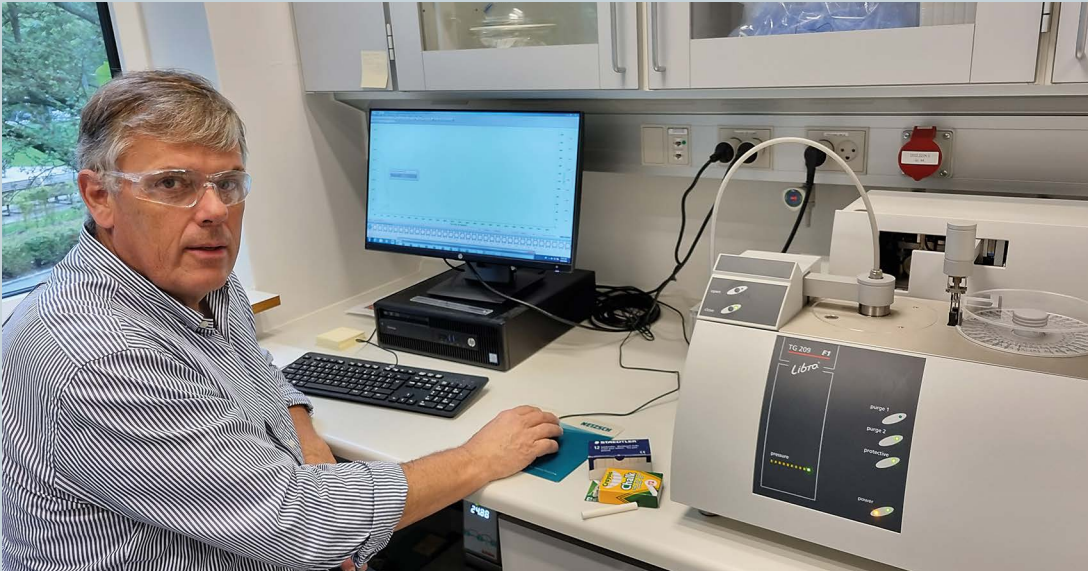


Foto: Jørgen Dahlgaard

Det gode kridts hemmeligheder

Af Carsten R. Kjaer, Aktuel Naturvidenskab

På sidste bagside fortalte vi om fysikeren Lars Bojer Madsens erfaringer med kridt og tavle. Jeg har efterfølgende fundet ud af, at Lars absolut ikke er alene med sine oplevelser med kridt af dårlig kvalitet. Den erfaring har de også på Institut for Kemi ved Aarhus Universitet, og her har professor Jørgen Skibsted sat sig for at undersøge, hvad forskellen på instituttets "gode" og "dårlige" kridt egentlig er. Konklusionerne fremlagde han for instituttets videnskabelige personale i februar, og dem skal læseren selvfølgelig ikke snydes for.

Om erfaringerne med de to typer kridt, der er i brug på Kemisk Institut, fortæller Jørgen Skibsted: »Instituttets "dårlige kridt" er billig, men giver en tynd, uklar streg på tavlen og er svær at viske væk igen uden brug af en fugtig svamp. Samtidig giver den en skinger, knirkende lyd, når man skriver på tavlen. Disse problemer er der ikke med den "gode" og dyrere kridt, som dog stadig kan være svær at viske ud.«

For at afsløre, hvad kridttyperne bestod af, lavede Jørgen Skibsted en såkaldt termogravimetrisk analyse. Den går ud på at måle vægtændringen i en prøve, mens den varmes op, afkøles eller holdes ved konstant temperatur. Det er en metode, der primært bruges til at karakterisere sammensætningen af materialer. Når man i almindelighed taler om kridt, forbinder man det med calciumkarbonat (CaCO_3). Og det var netop også, hvad instituttets dårlige kridt bestod af. Men det gjorde det gode kridt ikke: Det bestod af gips, som har

den kemiske formel $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Og det giver faktisk god mening:

»Hvis man sammenligner gips og calciumcarbonat (calcit) på en hårdhedsskala, så er gips et blødere materiale end calciumkarbonat,« siger Jørgen Skibsted.

Skalaen kaldes Moh's hårdhedsskala, og den går fra 1, som er mineralet talk, til 10, som er diamant. På denne skala definerer mineralerne calcit (som er calciumcarbonat) og gips henholdsvis værdierne 3 og 2. I analysen undersøgte Jørgen Skibsted også et tredje mærke tavlekridt, som en af hans kolleger brugte, og som var rigtig godt. Det viste sig at være en blanding af gips og calciumcarbonat. Umiddelbart skulle man således tro, at det hele drejer sig om de relative mængder af gips og calciumcarbonat. Men så let går det ikke. For da Jørgen Skibsted undersøgte kridtets Rolls Royce, det meget dyre Hagaromo-kridt, bestod det ifølge analysen ligesom det dårlige kridt af calciumcarbonat.

»Det viser, at også mikrostrukturen (morfologien) af materialet har betydning for dets egenskaber som tavlekridt,« siger han.

Dermed er vi i vores jagt på sandheden om kridt nået frem til, at det at fremstille godt tavlekridt faktisk er en kunst. Og det er jo rart at vide, at når det gælder tavlekridt, hænger pris og kvalitet tilsyneladende sammen. ■