

NATURVIDENSKAB OG TEKNOLOGI
DIREKTE FRA FORSKNINGSVERDENEN

AKTUEL
natur **VIDENSKAB**

SKIMMELSVAMPE
– EN UDFORDRING FOR
FORSKERE OG BOLIGEJERE

Fortid og nutid mødes på Svalbard
Oliepalmer: En trussel mod
tropernes biodiversitet og ferskvande?
En sikker genåbning – matematisk set

NR.3 - 2022 JULI: 50 KR.

NOTER

Fortidsskeletter i Knuthenborg

Knuthenborg Naturhistorisk Samling har åbnet for en udstilling, hvor man kan se verdens bedst bevarede eksemplarer af et af juratidens toprovdyr, nemlig rovdinosaueren Allosaurus. Derudover er der også åbnet for en unik udstilling af velbevarede skeletter af dyr fra perm-tiden før dinosaurernes æra. Her kan man se et eksemplar af Dimetrodon, en slægt af kødædende sejlgøgler, samt otte andre ægte skelletter af dyr fra perm-tiden.



Foto: Knuthenborg SafariPark

Kilde: knuthenborg.dk

Effektive hjernechips

Kunstig intelligens (AI) findes efterhånden i mange forskellige applikationer – fra spil på din computer til stemmegenkendelse i din smartphone. Bagsiden af medaljen er et stort energiforbrug af de programmer, der benytter sig af AI. Men det kan ændre sig takket være computerchips, der fungerer mere som den menneskelige hjerne. Et nyt studium af Wolfgang Maass og kolleger ved Graz University of Technology, Schweiz viser således, at såkaldte neuromorfe chips kan køre AI-algoritmer på en brøkdel af det energiforbrug, normale computerchips bruger.

Nature Machine Intelligence vol. 4, pp 467–479 (2022)

Unge vindere

Mimi Nielsen fra 9. klasse på Nordsjællands Grundskole og Gymnasium løb med titlen som Årets Unge Forsker 2022 i junior-kategorien. Hendes vinderprojekt gik ud på gøre aflagte juletræer til et billigt, lettilgængeligt og klimavenligt kostfibriltud. Samlet vinder i Unge Forskere Senior blev 19-årige Konrad Basse Fisker fra Roskilde Katedralskole. Han vil brødføde de mennesker, som sendes på missioner til Mars, ved at ændre på generne i spiselige alger, så de beskyttes mod skadelig stråling. Konkurrencen Unge Forskere arrangeres af Astra – det nationale naturfagscenter. Vinderne blev kåret i forbindelse med Science EXPO den 24.-26. april.



Fotos: Jakob Vind, Unge Forskere

Pris for forskningskommunikation

Forskningskommunikationsprisen for 2022 blev i april måned tildelt Michael Bang Petersen fra Aarhus Universitet. Han er professor i statskundskab, men hans forskning er tværdisciplinær, hvor han navigerer i krydsfeltet mellem statskundskab, psykologi og biologi. Han blev et kendt ansigt i offentligheden under corona-pandemien, hvor han som leder af forskningsprojektet HOPE undersøgte, hvordan tilliden mellem stat og borger udviklede sig under pandemien. Det er Uddannelses- og Forskningsministeriet, der uddeler prisen, som følges af 200.000 kr.



Foto: Ida Marie Jensen

Quizzen

Hvad har overrasket forskere i studiet af slangers stofskifte?

- A) At slanger ikke kan nedbryde proteiner
- B) At proteinsyntesen går i gang før byttet er fordøjet
- C) At slanger bygger de største proteiner i dyreriget

Læs svaret i artiklen om slanger.



Havgræs i Shark Bay. Foto: Royal Society

Organisme på 180 kilometer

Australske forskere har i Shark Bay i det vestlige Australien opdaget, at et kæmpestort område er dækket af havgræs, der er kloner af en og samme individ. I praksis er der dermed tale om en enkelt superorganisme med en størrelse på tværs på mere end 180 km – verdens suverænt største organisme.

Den aktuelle havgræs mener forskerne er opstået som en hybrid mellem arten *Posidonia australis* og en anden nært beslægtet, endnu ukendt art af havgræs. Hybridiseringen har betydet, at planten har 40 kromosomer mod normalt 20, og de ekstra 20 kromosomer har åbenbart givet planten så stor en fordel, at den har overtaget stort set alle områder med havgræs i Shark Bay. Forskerne vurderer, at denne havgræs opstod for cirka 4500 år siden og har spredt sig lige siden. Det gør den også til en af de længstlevende kendte organismer.

Kilde: *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*

Hardcore metalforsker

Dorte Juul Jensen fra DTU Construct modtog i maj måned Villum Kann Rasmussens Årslegat til Teknisk og Naturvidenskabelig Forskning for sin banebrydende materialeforskning og utrættelige indsats for at styrke dansk forskning. Årslegatet er på fem millioner kroner, og dem vil hun nu bruge til at udbygge sin forskning til at forstå de komplicerede strukturer, der sker i 3D-printede metaller, når de udsættes for mekaniske eller termiske belastninger.



Foto: VILLUM FONDEN

Kilde: Veluxfoundations.dk

indhold



Skimmelsvampe – en udfordring for forskere og boligejere

Dansk forsker forsøger at forstå skimmelsvampenes komplekse univers for blandt andet at sikre, at bæredygtigt byggeri ikke bliver de rene bomber under helbredet.

8



Fortid og nutid mødes på Svalbard

Hvis man gerne vil opleve, hvordan det danske landskab kunne have set ud, da den seneste istid sluttede, er Svalbard et godt sted at besøge.

Her kan forskerne studere gletsjere, som stadig er i aktivt spil med landskabet.

20



Slanger giver unikt indblik i reguleringen af proteinsyntesen

Slanger har en usædvanlig evne til at sætte gang i kroppens proteinsyntese, allerede inden fordøjelsen er startet. Forskere mistænker, at et endnu ukendt tarmhormon er afgørende i processen.

26



Oliepalmer: En stigende trussel mod biodiversitet og ferskvande?

Der er en voldsom vækst i arealet tilplantet med oliepalmer på verdensplan. Det har rejst bekymring for konsekvenserne for biodiversiteten og ferskvandsystemer i tropenerne.

32

FORSKNING OG NYHEDER

- 4 KORT NYT
- 8 Skimmelsvampe – en udfordring for forskere og boligejere
- 14 Et holistisk syn på organismen og dens mikroorganismer
- 20 Fortid og nutid mødes på Svalbard
- 26 Slanger giver unikt indblik i reguleringen af proteinsyntesen
- 32 Oliepalmer: En stigende trussel mod tropernes biodiversitet og ferskvande?
- 38 En sikker genåbning – matematisk set
- 44 BAGSIDEN: Den svære samtale

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 og Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- Det Ingeniør- og Naturvidenskabelige Fakultet og Det Tekniske Fakultet for IT og Design, Aalborg Universitet
- Roskilde Universitet

Ansvarshavende

David Lundbek Egholm, prodekan ved Faculty of Natural Sciences, Aarhus Universitet.

Redaktion

Redaktører Carsten Rabæk Kjaer og Jørgen Dahlggaard
Tlf.: 8715 2094 / 3036 0660 / 3036 0662

E-post: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk



AALBORG UNIVERSITET



AARHUS
UNIVERSITET



KØBENHAVNS
UNIVERSITET



DET NATURVIDENSKABELIGE
FAKULTET



DET TEKNISKE
FAKULTET



Roskilde Universitet

SPONSOR-
ABONNENTER



novo nordisk®

Tal ordentligt til dyrene

Heste, grise og vildheste kan skelne mellem negative og positive lyde fra deres artsfæller og deres nære slægtninge, men også når mennesker taler. Det viser ny forskning på Københavns Universitet og ETH Zürich. Projektet er et internationalt samarbejde, mellem forskerne Anne-Laure Maigrot og Edna Hillmann samt Københavns Universitets Elodie Briefer fra Biologisk Institut.



Foto: Anne-Laure Maigrot

»Resultaterne viser, at både domesticerede grise og heste-, såvel som asiatiske vildheste er i stand til at kende forskel, både når lydene kommer fra deres egen art, fra deres nære slægtninge, men altså også når et menneske taler,« forklarer Elodie Briefer. Forskerne afspillede både optagelser af dyrelyde og menneskelige stemmer fra skjulte højttalere med meget høj lyd kvalitet for at sikre de naturlige frekvenser, som dyrene hører bedst.

Lydene blev afspillet i sekvenser med enten en positivt eller negativt ladet lyd først, så en pause og dernæst lyde med modsatte valens, altså den modsatte følelse.

Dyrenes reaktioner blev optaget på video, som forskerne efterfølgende kunne bruge til at observere og registrere dyrenes reaktioner ud fra en række kategorier kendt fra tidligere studier – alt fra ørenes position til dyrets bevægelser eller mangel på samme.

Et interessant resultat lå i den rækkefølge, som lydene blev afspillet i. Sekvenser, hvor den negative lyd blev afspillet først, udløste kraftigere reaktioner, også når det gjaldt den menneskelige tale.

Det tyder ifølge Elodie Briefer på, at den måde, vi taler på i nærheden af dyr, og måden, vi taler til dyrene på, kan have betydning for deres trivsel.

»Det betyder, at vores stem-

mer har en direkte indflydelse på dyrenes emotionelle tilstand, hvilket er meget interessant fra i dyrevelfærdsperspektiv,« siger hun.

Ikke alene rejser den viden etiske spørgsmål omkring vores syn på dyrene – og omvendt, den kan også være et konkret afsæt til at forbedre dyrenes daglige trivsel, for de mennesker, der arbejder med dem.

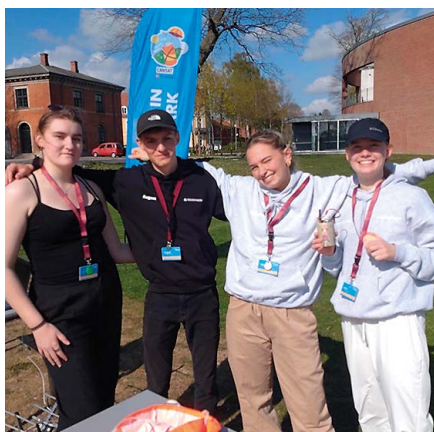
Kristian Bjørn-Hansen, Videnskabelig artikel: BMC Biology vol. 20, Article number: 106 (2022)

Satellit på dåse

Den 6. maj i år blev vinderne af den danske CanSat-konkurrence kåret – og det blev fire elever fra Syddjurs Gymnasium, der løb med sejren, og de skal nu dyste i den internationale CanSat-konkurrence den 20.-25. juni 2022 i Bologna, Italien.

CanSat-konkurrencen er primært henvendt til gymnasieelever og går ud på at bygge en satellit, der kan være i en almindelige sodavandsdåse på 33 cl og som ikke vejer mere end 350 gram. I år var en bunden opgave, at satellitten skal kunne måle lufttemperatur og tryk og sende disse målinger retur til jordstationen mindst én gang i sekundet. Eleverne kunne så selv vælge en sekundær mission.

Her havde vinderholdet, som består af Malou Kirstine Bauer, Cecilie Kjær, August Ditlev Buus Jensen og Lyra Hoeks Haugum, valgt at måle CO₂.



De stolte vindere af årets cansat-konkurrence i Danmark. Fra venstre er det Cecilie, August, Malou og Lyra. Foto: Rasmus Daniel Schultz Nicolajsen

Selve konkurrencen foregik ved, at en drone skulle sende dåse-satellitten op i luften og frigive den, så den kunne dale ned med en faldskærm og samtidig udføre dens målinger. Det foregik dog ikke gnidningsløst, fortæller Malou Kirstine Bauer.

»Da vores satellit skulle sendes op, gik dronen i stykker, så satellitten styrtede til jorden og selve dåsen gik i stykker, så vi måtte lave en ny.«

Men trods uheldet viste satellitten sig så holdbar, at sejren kom i hus.

»Siden den nationale konkurrence har vi lavet småændringer såsom at programmere og tilslutte en GPS samt sætte en ny antenne på satellitten, så vi er helt klar til afrejse den 20. juni,« siger Malou Kirstine Bauer.

Den danske CanSat-konkurrence arrangeres af AAU Space Center, Astra og Naturvidenskabernes Hus, mens ESA står for den internationale konkurrence. Konkurrencen har været afholdt siden 2010. Det er i øvrigt fjerde gang, at elever fra Syddjurs Gymnasium vinder den danske konkurrence.

CRK, esero.dk/missioner/cansat/

Hvad kan mennesker høre under vand?

Det kan næppe overraske nogen, at mennesket hører bedre på land end under vand. Det konstaterer et nyt studie fra Syd-dansk Universitet da også – men det afslører også, at mennesket ved visse frekvenser hører lige så godt som sælen under vand. Ophavsmænd til studiet er tidligere ph.d.-studerende Kenneth Sørensen, biolog og ekspert i dyrs hørelse Jakob Christensen-Dalsgaard og ekspert i marine pattedyrs undervandshørelse Magnus Wahlberg.

»Siden 1950'erne er der gjort flere forskellige forsøg på at måle menneskets hørelse under vand, og fælles for dem er, at de alle har fundet en høretærskel, der er temmelig langt fra den, vi har fundet,« siger Jakob Christensen-Dalsgaard.

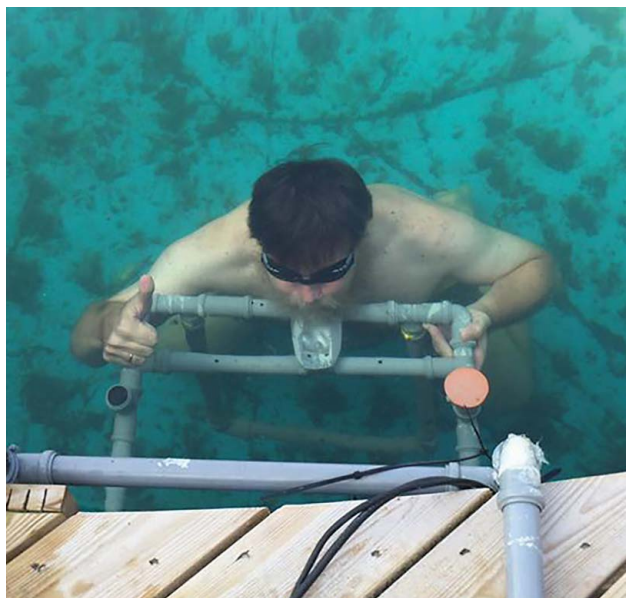
I det nye studie, som 7 personer deltog i, ligger den gennemsnitlige høretærskel på 71 dB, svarende til et lydtryk på 3,5 mPa ved 500 Hz. Høretærsklen er en måling af, hvilke lydstyrker man lige akkurat kan høre.

»Det er 26 dB lavere end forventet fra hypoteserne i de tidligere studier, så vi må konkludere, at mennesket hører betydeligt bedre under vand end hidtil rapporteret af videnskaben. Faktisk er tærsklen ved 500 Hz på linje med, hvor godt dyr som skarver og sæler hører under vand,« siger Jakob Christensen-Dalsgaard.

Dog hører det med til forståelsen af menneskets undervandshørelse, at sæler og delfiner i modsætning til os kan høre meget højfrekvente lyde under vand – også ultralyde, som mennesker ikke kan høre. De er samtidig generelt mere følsomme for undervandslyde.

De tidligere studier havde som hypotese, at øret under vand virker ved såkaldt benledning; altså at lydbølgerne vibrerer kraniet. Det forklarer de høje høretærskler i de tidligere studier.

»Men vi mener, at resonans i den indesluttede luft i mellemøret forstærker lyden og gør øret mere følsomt. Det har vi også vist i tidligere undersøgelser af skarv, sumpskildpadde og



Fotoet viser Jakob Christensen-Dalsgaard i gang med at få målt sin undervandshørelse. Foto: Kirstin Anderson Hansen.

handler nemlig ikke kun om at opfange en lyd. Det handler også om at retningsbestemme lyden – og der står det virkelig sløjt til for undervandsmennesket.

»I luft kan vi bestemme lydretning indenfor nogle få grader, men i vand er der op til 90 graders fejl. Det er ikke så mærkeligt, fordi vi er trænet til at reagere på de små tidsforskelle mellem ørerne, som skyldes lydhastigheden i luft, og i vand er

lydhastigheden fire gange større og tidsforskellene altså meget mindre,« forklarer Jakob Christensen-Dalsgaard.

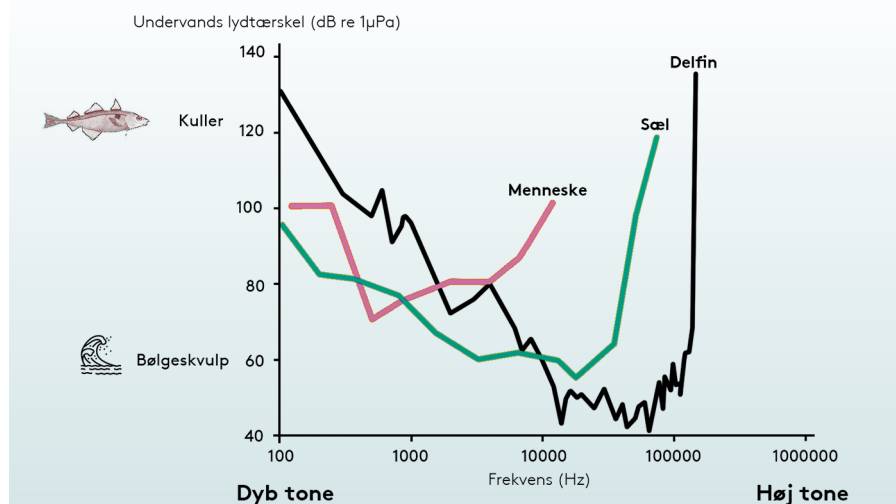
Som menneske skal man dog ikke forvente at kunne hoppe i havet og orientere sig perfekt ved hjælp af høresansen: Høresans

sporefrø,« forklarer Christensen-Dalsgaard.

Som menneske skal man dog ikke forvente at kunne hoppe i havet og orientere sig perfekt ved hjælp af høresansen: Høresans

Birgitte Svennevig, SDU.

Hearing Research, Vol. 420, July 2022, 108484.



Figuren viser høretærskelkurver for undervandslyd for menneske, sæl og delfin. Da de fleste mennesker ikke rigtig har noget forhold til, hvor kraftige undervandslyde er, vises til sammenligning lydstyrken af bølgeskvulp og af de undervandslyde, kulleren laver. Kurven viser, at mennesket i et begrænset frekvensområde er mere følsomt end sæler og delfiner, men generelt har begge dyr selvfølgelig en mere følsom undervandshørelse.

Indenfor høreforskning angiver man altid tærsklerne som logaritmiske dB- (decibel) værdier, hvor lydærsklen p sættes i forhold til et referencelydtryk p_0 : $\text{dB} = 20 \cdot \log_{10}(p/p_0)$ (\log_{10} er titallogaritmen). Problemet ved at sammenligne tærskler i luft og vand er blandt andet, at man bruger forskellige referencelydtryk p_0 i de to medier: I vand bruger man 1 mikroPascal, i luft 20 mikroPascal.

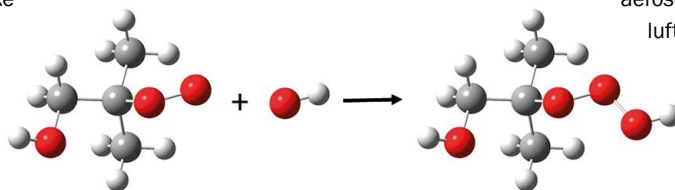
Nye reaktive stoffer i atmosfæren

Vi kender peroxider fra hverdagen i form af for eksempel brintoverilte. Peroxider, som er kemiske forbindelser med to iltatomer bundet til hinanden, hvilket gør dem meget reaktive og ofte eksplosive, findes også i luften omkring os. Der har de senere år været spekulationer, om der også findes trioxider i atmosfæren – forbindelser med tre iltatomer i stedet for to. Indtil nu er det aldrig blevet entydigt påvist.

»Det har vi gjort nu. Den type forbindelser, som vi her har opdaget, er i sin struktur helt unik. Og fordi de er så ekstremt oxiderende, vil de med al sandsynlighed føre en masse effekter med sig, som vi dog ikke kender endnu,« siger Henrik Grum Kjærgaard, professor ved Kemisk Institut på Københavns Universitet.

Der er tale om en helt ny klasse af kemiske forbindelser ved navn hydrotrioxider

Reaktion: $ROO + OH \rightarrow ROOOH$ (iltatomer i rødt)



Når kemiske forbindelser oxideres i atmosfæren, reagerer de ofte med OH-radikaler, hvorved der typisk dannes et nyt radikal. Når dette radikal reagerer med ilt, danner det et tredje radikal ved navn peroxid (ROO), hvilket så igen kan reagere med OH-radikalet og derved danne hydrotrioxider (ROOOH).

(ROOOH), som KU-forskerne sammen med kolleger fra Leibniz Institute for Tropospheric Research og California Institute of Technology har påvist dannes i gasform under atmosfæriske forhold. De har derudover vist, at hydrotrioxider dannes i den atmosfæriske nedbrydning af flere meget udledte stoffer, heriblandt isopren og dimethylsulfid. Forskerne forventer, at næsten alle kemiske forbindelser vil danne trioxider i atmosfæren. Levetiden anslås at vare fra minutter til ti-

mer. Trioxiderne er stærkt mistænkt for også at kunne trænge ind i de luftbårne partikler, aerosoler, som blandt andet kan føre til luftvejs- og hjerte-kar-sygdomme.

»De vil højst sandsynligt gå ind i aerosoler, hvor de vil danne nye forbindelser med nye mulige effekter. Man kan let forestille sig, at der derved dannes stoffer i aerosolerne, som vil have skadelige sundhedseffekter, hvis man indånder dem. Men det bør undersøges nærmere, før man med sikkerhed kan sige noget om helbredsvirkningerne,« siger Henrik Grum Kjærgaard.

Aerosoler har også indvirkning på klimaet, idet de reflekterer og absorberer sollys. Ifølge forskerne er der stor sandsynlighed for, at hydrotrioxider påvirker mængden af aerosoler og dermed Jordens varmebalance.

Maria Hornbek, KU. Science, vol. 376, iss. 6596, pp. 979-982

En rigtig stjerneforsker

Den 1. juni blev det offentliggjort, at professor Jørgen Christensen-Dalsgaard fra Institut for Fysik og Astronomi på Aarhus Universitet modtager Kavliprisen, som hvert andet år uddeles af Det Norske Videnskaps-Akademi i samarbejde med det norske forsknings- og uddannelsesministerium og Kavli Foundation. Prisen, som er på en million dollars, går til forskere, der har skabt banebrydende resultater inden for hvert af de tre fagområder astrofysik, nanovidenskab og neurovidenskab.

Det er første gang, at en dansker modtager Kavliprisen, og Jørgen Christensen-Dalsgaard får prisen for sin centrale rolle i udviklingen af seismiske undersøgelser af Solen og andre stjerner gennem de seneste 40 år. Han deler prisen med to andre forskere indenfor feltet: Conny Aerts fra Katholieke Universiteit Leuven (KU Leuven), Belgien, der også er æresdoktor på Aarhus Universitet og Roger Ulrich fra University of California, Los Angeles, USA



Professor Jørgen Christensen-Dalsgaard. Foto: Nils Lund

Forskningsfeltet kaldes helioseismologi, når det er Solen, man måler på, og asteroseismologi, når man måler på andre stjerner. Ligesom seismologer kan finde ud af en masse om Jordens indre ved at måle seismiske bølger fra blandt andet jordskælv, kan astronomer studere det indre af solen og andre stjerner ved at observere stjerneskælv, altså

vibrationer på stjerners overflader. Derved kan de finde ud af, hvor gammel en stjerne er, hvad dens radius og masse er, og hvordan den roterer.

Den viden kan de for eksempel bruge til at lære noget om de planeter, der kredser om stjernerne. Ikke mindst det sidste, altså brugen af asteroseismologi til forskning i exoplaneter, har Jørgen Christensen-Dalsgaard været foregangsmand i. Som leder af grundforskningscentret Stellar Astrophysics Centre (SAC) på Aarhus Universitet har han været dybt involveret i studier af stjerneskælv og exoplaneter fra de to NASA-rumteleskoper Kepler og TESS. Han har således organiseret de over 500 forskere i TESS Asteroseismic Science Consortium (TASC).

Jørgen Christensen-Dalsgaard går i øvrigt på pension og bliver professor emeritus den 30. juni. Han får overrakt prisen af den norske konge den 6. september.

Peter Gammelby, AU

Så flyver sundhedsdronerne

Den 30. maj fløj en sundhedsdrone fra Svendborg Sygehus til Ærø-hospitalet i Ærøskøbing – en tur på 50 kilometer i 80 meters højde. Den officielle testflyvning var en milepæl i projektet HealthDrone, som skal integrere droner i det danske sundhedsvæsen. Bag projektet står et partnerskab bestående af OUH, Falck, Holo, Unify, Scandinavian Avionics og Syddansk Universitet. HealthDrone er i gang med at udvikle og teste droner til transport af blodprøver og medicin mellem Ærø, Svendborg og Odense.

Den første version af dronen kan bringe



blodprøver fra det lille øsamfund til laboratoriet. På længere sigt er det planen, at også medicin og udstyr skal transporteres mellem sygehuse, laboratorier, lægehuse, plejehjem og hjemmeplejen. Den 2,5 kilo tunge batteridrevne drone har et vingspænd på 2,8 m

og kan flyve med 100 km i timen. Den styres fra et kontrolrum i København.

Fordelen ved at bruge droner er, at korrekt behandling af patienter kan foregå hurtigere. Transporttiden med dronen er 40 minutter, hvilket er langt hurtigere end med bil og færge.

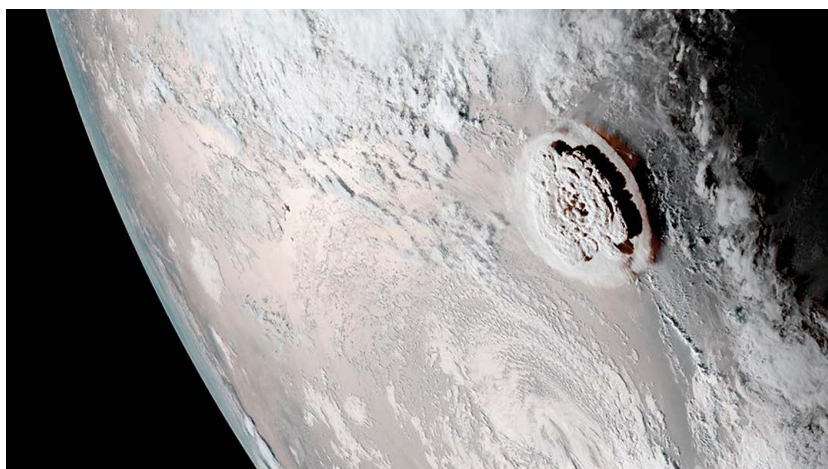
Det er exceptionelt i europæisk sammenhæng, at dronerne kan få lov at flyve uden at lukke luftrummet ned. Det skyldes blandt andet, at der er udviklet en metode til at tracke helikoptere og fly, så dronen kan manøvrere uden om dem.

CRK, Kilde: Det tekniske fakultet, SDU

Eftervirkninger af gigantbrag

I januar måned gik den undersøiske vulkanen Hunga Tonga–Hunga Haapai i det sydlige Stillehav i udbrud, hvilket afstedkom den til dato største atmosfæriske eksplosion, der er registreret i verden. Begivenheden sendte chokbølger Jorden rundt og en enorm askesøjle op i den øvre atmosfære. Siden har to forskellige forskerhold indsamlet data fra området, som gives os et dybere indblik i den voldsomme begivenhed og dens konsekvenser.

En gruppe forskere ledet af vulkanologen Shane Cronin University of Auckland, New Zealand sejlede i maj måned henover vulkanens caldera – den store fordybning, der opstår, når en vulkan går i udbrud og efterfølgende kollapser ned i det hulrum, som den glødende magma befandt sig i før udbruddet. Ved hjælp af sonar kortlagde de strukturen og fandt, at den fire kilometer brede caldera var sunket fra en dybde mindre end 200 meter under havniveau til mere end 850 meters



Tonga-udbruddet kunne tydeligt ses fra satellit. Foto: NOAA

dybde. Forskerne anslår, at der ved udbruddet er kastet i størrelsesorden 6,5 kilometer materiale ud af vulkanen.

Årsagen til eksplosionens voldsomhed var ifølge forskerne sandsynligvis vekselvirkningen mellem de store mængder 1100 grader varmt magma og havvand i en kædereaktionsagtig proces. Havdybden har været tilpas lav til, at det ikke kunne undertrykke eksplosionen og samtidig tilpas dyb til, at der kunne fødes enorme mængder vand til at drive processen. Det udmøntede sig i flere store eksplosioner og hundredvis af mindre hvert minut.

En anden videnskabelig ekspedition fra National Institute for Water and Atmospheric Research i New Zealand har indsamlet aske fra havbunden rundt om vulkanen. Undersøgelserne viste, at udbruddet sandsynligvis blev fulgt af dramatiske strømme af varm aske og lava (såkaldte pyroklastiske strømme), som har forvandlet den omgivende havbund til en hvid ørken, hvor alt levende tilsyneladende

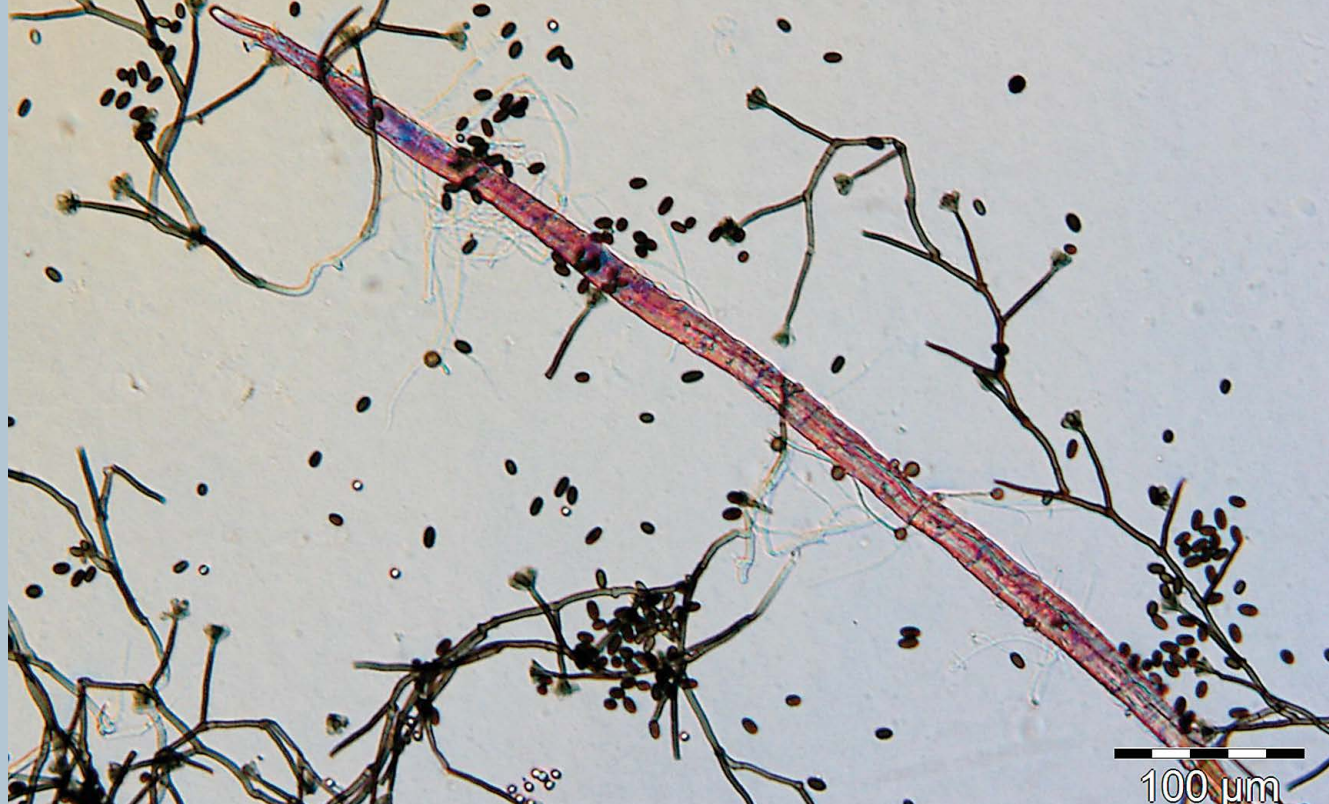
er udryddet – selv bakterier i sedimentet.

Liv, der ikke er knyttet til havbunden, er ikke i samme grad påvirket. Således viser satellitdata opblomstring af planteplankton i kølvandet på udbruddet, hvor planktonet har nydt godt af tilførslen af næringsstoffer. Også på bjergtoppe, der lige akkurat stikker op over vandet kun 15 kilometer fra udbruddet, har forskerne til deres overraskelse fundet, at livet stadig trives.

CRK, Kilde: Nature, doi: <https://doi.org/10.1038/d41586-022-01544-y>

Skimmelsvampen *Stachybotrys chartarum*, der vokser på en gipsplade. Billedet er taget i lysmikroskop af et tapeaftryk ved x 200 forstørrelse.

Foto: Birgitte Andersen



SKIMMELSVAMPE – EN UDFORDRING FOR FORSKERE OG BOLIGEJERE

Dansk forsker forsøger at forstå skimmelsvampenes komplekse univers for blandt andet at sikre, at bæredygtigt byggeri ikke bliver de rene bomber under helbredet.

Forfatteren
Kristian Sjöberg er videnskabsjournalist



Om forskeren
Birgitte Andersen er lektor ved Institut for Byggeri, By og Miljø, Aalborg Universitet. Hun arbejder med indeklima og skimmelsvampe – detektion og identifikation.

Hvis boligejere frygter noget mere end alt andet, er det skimmelsvamp. Store, fede plamager af skimmelvækst, der stortrives i det skjulte i hjemmet og fuldstændigt devaluerer værdien af huset.

Skimmelsvamp i gipsvæggene eller under gulvbrædderne kan være en bombe under helbredet. Har man astma eller allergi, kan skimmelvækst forværre sygdommene, mens ellers sunde og raske mennesker kan få hovedpine, slimhindeirritation eller sågar eksem, hvis de er meget uheldige. For nogle mennesker kan skimmelsvampene være årsagen til, at de hver morgen våg-

ner op med en følelse af tømmermænd eller influenza.

Selvom problemerne med skimmelsvampene er velkendte, er de for en stor dels vedkommende stadig et mysterium. Forskere ved faktisk ikke særligt meget om dem og endnu mindre om, hvorfor de kan give problemer med helbredet. I den henseende har man aldrig fundet den rygende pistol, der kobler en bestemt skimmelsvamp sammen med influenzalignende symptomer, og videnskaben er på bagkant, fordi den endnu ikke kan fortælle fru Jensen, hvorfor den mørke plet på stuevæggen bag sofaen giver hende hovedpine og ondt i halsen.

Man ved bare fra utallige lignende tilfælde, at der er et sammentræk mellem det at have skimmelvækst i hjemmet og det at være i risiko for at udvikle symptomer.

Det er som bekendt altid bedst, hvis man for at komme et problem til livs tager fat om nældens rod. Det gælder også skimmelsvampene, hvor det er bedre at forebygge skimmelsvampe i hjemmet end at behandle symptomerne på, at de er der. Det gælder både symptomerne på væggen eller i gulvet, men også symptomerne i forhold til helbredet.

Én af de danske forskere, som ved allermost om skimmelsvampe, er

lektor Birgitte Andersen fra Institut for Byggeri, By og Miljø ved Aalborg Universitet. For hende er skimmelsvampe ikke bare et problem, som hun forsøger at løse for fru Jensen. Skimmelsvampene er hendes livspassion, som hun finder helt og aldeles fascinerende.

»Folk skal interessere sig for skimmelsvampene, fordi nogle af dem ikke skal være der, hvor vi finder dem i vores huse. Jeg interesserer mig også for dem, fordi jeg ganske simpelt ikke kan lade være og finder dem aldeles flotte at kigge på under et mikroskop,« fortæller hun.

Der findes 60.000 forskellige arter af skimmelsvampe

Birgitte Andersen arbejder blandt andet med at klassificere alle de skimmelsvampe, som findes i verden. Dem er der i omegnen af 60.000 af, men kun 100 arter er almindelige i indeklimaet.

Gensekventering har gjort det muligt i prøver at identificere individuelle arter af skimmelsvampe. Helt simpelt laver forskerne en gensekventering af alt det genetiske materiale i en given prøve og benytter derefter genetiske databaser til at matche resultaterne fra prøven op med de arter, som forskere allerede har fyldt ind i databaserne. Finder man en række match, ved man, hvad der gror på fru Jensens væg, og hvis nogle gensekvenser ikke findes i databasen, kan det være tegn på, at man har fundet noget nyt.

Når man tager en prøve for skimmelvækst i et hjem, tager man en prøve i støvet. Skimmelsvampe spreder sig ved at sende svampesporer ud i luften, hvorfra de tages med af brisen for at blive aflejret i støvet i hjørnerne på gulvet eller på toppen af dørkarmen. På den måde kan man bruge fund af skimmelsvampesporer i en støvprøve som en indikation af, om der findes skimmelvækst i hjemmet.

»Nogle gange er det tydeligt, om der er skimmelvækst i hjemmet,



Meget synlig vækst af skimmelsvampe. Foto: Shutterstock

Metoder til at finde skimmelsvamp

Når fagkyndige skal lede efter uønskede skimmelsvampe i folks hjem, benytter de forskellige metoder:

Mycometermetoden

Denne metode kigger udelukkende på biomassen i en given prøve. Mere specifikt undersøger mycometeret mængden af et bestemt enzym i en given prøve, men da enzymet findes i cellevæggene hos stort set alle skimmelsvampe, kan undersøgelsesmetoden ikke skelne mellem mug i en gipsplade og mug på et rugbrød. Birgitte Andersen mener alligevel ikke, at metoden er dårlig, da den erfaringsmæssigt kan bruges til i hvert fald at fastslå, om der er noget at være bekymret for i forhold til prøver fra en given bygning.

DNA-metoden

Denne metode benytter små stykker DNA, der specifikt indfanger sporer fra nogle af de mest problematiske skimmelsvampe. DNA-metoden er udviklet til at genkende lidt over 30 skimmelsvampe på artsniveau og kan blandt andet genkende *Penicillium chrysogenum*, som vokser på forskellige byggematerialer. Fordelen ved metoden er, at man med det samme får at vide, om der er fund af den ene eller anden problematiske skimmelsvamp i sin prøve. Ulempen er det begrænsede antal svampe, som metoden kan genkende.

Dyrkningsmetoden

Her er man nødt til at finde selve det sted, hvor skimmelsvampene gror (eller tage luftprøver for at fange skimmelsvampenes luftbårne sporer). Det kan være i fugerne på badeværelset eller den mørke plet på gipsvæggen i bryggerset. Efter man har taget en prøve af skimmelsvampen, dyrker man den i laboratoriet og identificerer den efterfølgende under et mikroskop. Ulempen her er, at det kræver en specialist som Birgitte Andersen at sætte navn på den fundne skimmelsvamp. Til gengæld finder analysemetoden kun levende svampe, hvor de andre metoder identificerer både levende og døde svampe og dermed er i risiko for at identificere et ikke-problem.

Eksempler på uønskede svampe i hjemmet

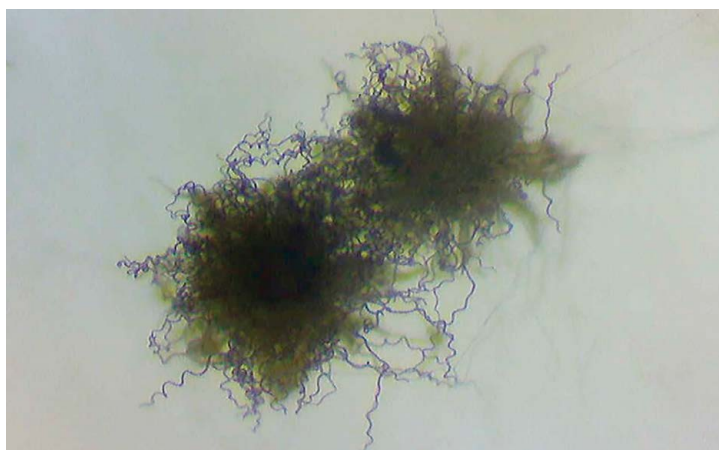
Aspergillus versicolor er blandt de mest almindelige skimmelsvampe i bygninger. Skimmelsvampen producerer stoffet geosmin, som er den karakteristiske lugt af jordslåethed eller gammel kælder. *A. versicolor* kan irritere luftvejene og give allergiske reaktioner, og så kan skimmelsvampen også producere det kræftfremkaldende stof sterigmatocystin. *A. versicolor* elsker at vokse på fugtige materialer, især i gulvkonstruktioner af træ, tapeter, puds og mineraluld. Og så har man fundet ud af, at sporerne kan overleve i beton, der har en pH-værdi over 12.

Penicillium chrysogenum er blandt de skimmelsvampe, som hyppigst findes i bygninger i forbindelse med fugtskader og svampevækst. Skimmelsvampen er i stand til at producere antibiotikummet penicillin, men gør det kun under særlige betingelser. *P. chrysogenum* kan vokse på tapet, lim, finér og i og på maling.

Stachybotrys chartarum også kaldet for "black killer fungus" elsker fugtige gipsplader, men laver også gerne kolonier på hø, halm, papir og tekstiler. Skimmelsvampen findes udbredt i Danmark, og den er også kendt for at kunne producere nogle særdeles potente toksiner.

Skimmelsvampeart	Forekomst
Vækst i bygninger	
<i>Acremonium strictum</i>	Puds
<i>Aspergillus versicolor</i>	De fleste byggematerialer
<i>Chaetomium globosum</i>	Krydsfiner, spånplader, gipsplader, beton
<i>Cladosporium sphaerospermum</i>	Træværk, fuger
<i>Penicillium chrysogenum</i>	De fleste byggematerialer
<i>Stachybotrys chartarum</i>	Gipsplader, karton, tapet
<i>Trichoderma harzianum</i>	Træ, krydsfiner, spånplader, gipsplader
<i>Ulocladium alternariae</i>	Tapet, puds, gipsplader
Udeluften	
<i>Alternaria infectoria</i>	Rug-, byg- og hvedeplanter på marken
<i>Aspergillus fumigatus</i>	Kompost, træflis, jord
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	Døde plantedele, jord
<i>Epicoccum nigrum</i>	Jord, døde plantedele
<i>Penicillium citrinum</i>	Jord, kompost
Madvarer	
<i>Aspergillus glaucus</i>	Franskbrød, pitabrød
<i>Penicillium digitatum</i>	Appelsiner, citroner, klementiner
<i>Penicillium expansum</i>	Æbler, pærer
<i>Penicillium glabrum</i>	Løg
<i>Penicillium roqueforti</i>	Rugbrød, blåskimmelost

Eksempler på almindelige skimmelsvampe.



Chaetomium globosum, der vokser på en gipsplade. Billedet er taget direkte i stereomikroskop. Foto: Birgitte Andersen

mens det andre gange kan være skjult. Og så handler det også om at identificere, hvilken type skimmelsvamp det drejer sig om, for det er alt andet end ligeegyldigt,« forklarer Birgitte Andersen.

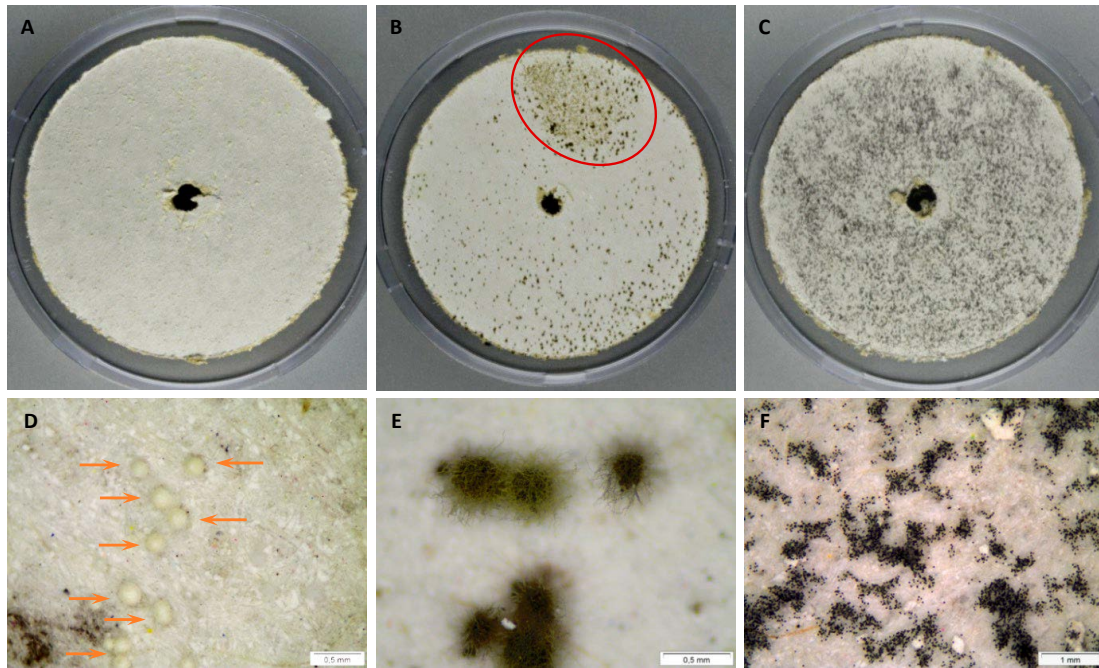
Stor forskel på skimmelsvampearter

Skimmelsvampe er ikke altid dårligt for helbredet, og faktisk er kun et fåtal af dem associeret med en helbredsrisiko. Birgitte Andersen har med sine kollegaer lavet en analyse af indholdet af skimmelsvampe i prøver fra ni danske hjem for at finde ud af, i hvor stort omfang skimmelsvampene i prøverne stammer fra vækst i eller uden for huset. Studiet skulle være med til at kaste lys over, hvad der er grund til at være nervøs over.

»Man kunne godt forestille sig, at man i en støvprøve fra et hjem fandt skimmelsvampe fra mugosten, der ofte står fremme på køkkenbordet, fra skimmelvæksten på nogle af frugterne i frugtskålen eller svampesporer fra champignonner i skoven uden for vinduet. Det er dog usandsynligt, at det kommer med en helbredsrisiko, og derfor er det vigtigt at identificere de individuelle skimmelsvampearter,« siger hun.

I analysen af sporeindholdet i prøverne fra de ni danske hjem har forskerne både taget prøver fra dørkarmen uden for husene og fra dørkarme inde i husene. Herefter har de gensekventeret hele baduljen og efterfølgende identificeret prøvernes indhold af individuelle arter af skimmelsvampe.

Birgitte Andersen fortæller, at typen af analyse har man brugt i mange år med bakterier, hvilket har gjort det let, fordi databaserne over bakterier er både fuldkomne og præcise. Desuden har mange tæt beslægtede bakterier nogenlunde samme livscyklus. Sådan ser det ikke ud med skimmelsvampe, hvor der både er huller i databasen, og hvor det ikke altid er til at stole på, at de navne, som står i



Tre gipsskiver (A-C) med skimmelsvampevækst. Væksten er næsten usynlig på skive A, da den svamp, *Aspergillus fischeri*, der groer på skiven, er hvid (D). På skive B vokser der *Chaetomium globosum* og *Penicillium chrysogenum* (i den røde cirkel) og på skive C vokser *Stachybotrys chartarum*, som kan dække en våd skive på 3 dage. Fotos: Birgitte Andersen

databasen, også matcher de associerede gensekvenser.

»Man kan matche automatisk i gen-databaserne over bakterier, men for skimmelsvampe må man stadig ind manuelt og verificere hvert fund. Det skyldes blandt andet, at mange af arterne ligner hinanden, men at de kan vokse vidt forskellige steder og repræsentere forskellige helbredsriski eller ingen risici. Derfor er det et omfattende arbejde at lave en præcis kortlægning af forekomsten af skimmelsvampe i blot ni prøver,« fortæller Birgitte Andersen.

Som eksempel på problemstillingen nævner hun skimmelsvamp af slægten *Penicillium*. *Penicillium chrysogenum* kan vokse på forskellige byggematerialer og give helbredsgener, mens *Penicillium roqueforti* giver roquefortost sine karakteristiske farve og smag. Du kan selv gætte dig til, hvor *Penicillium camemberti* vokser.

»Så hvis man i sin prøve får at vide, at der et match for *Penicillium* sp., er det ikke til at sige, om det skyldes mug i en gipsvæg eller mug på en god ost. Derfor var det nødvendigt, at vi gennemgik alle fundene



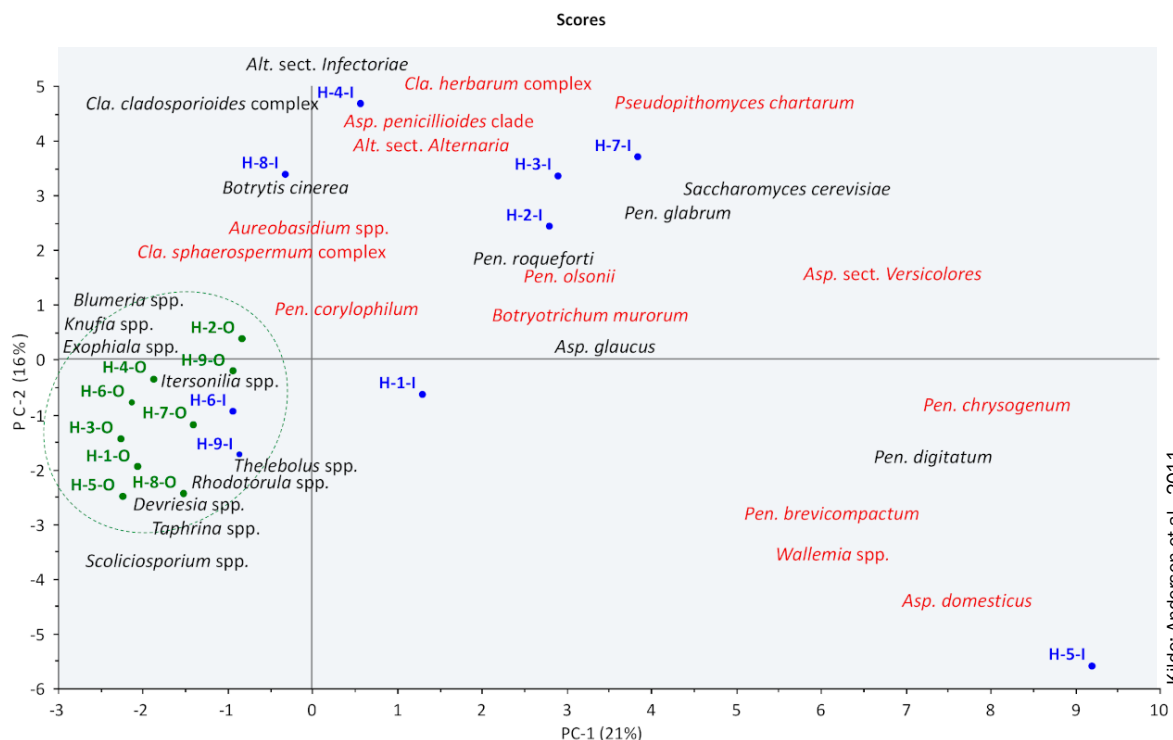
Chaetomium globosum, der vokser på en OSB-plade. På ydersiden har der siddet en gipsplade, og skimmelsvampen har vokset inde i vægkonstruktionen mellem de to plader. Begge plader har suget vand op på grund af en fejlkonstruktion. Foto: Birgitte Andersen

Svampe skal have vand og fugt

Uden vand eller høj luftfugtighed (> 75 % relativ fugtighed) kan skimmelsvampene ikke vokse. Men både bygningens beskaffenhed og brugernes adfærd har stor indflydelse på, hvor fugtig en bygning er. Hvis bygningen er gammel og misvedligeholdet eller opført hurtigt og sjuksket, kan der komme vand ind gennem fx huller i taget, utætte vinduer, eller der kan stige grundfugt op gennem revner i fundament og murværk. Hvis bygningen er dårligt isoleret, kan der opstå kuldebroer indendørs, hvor fugten i indeluften kan fortættes og kondensere. Det ses især i hjørnerne på en ydervæg, enten oppe ved loftet eller nede ved gulvet.

Fugten indendørs kommer i de fleste tilfælde fra brugerne. Når vi bevæger os og trækker vejret, afgiver vi fugt til omgivelserne. Når vi laver mad, går i bad og tørrer tøj indendørs, dannes der også fugt, og så stiger luftfugtigheden. Et menneske genererer fugt og vanddamp, der svarer til ca. 2,5 liter vand i døgnet. Når fugtigheden i luften er 100 %, kan luften ikke indeholde mere vanddamp, og man siger at "dugpunktet" er nået. Det ses tydeligt efter et langt, varmt brusebad, hvor vandet løber ned ad væggene. Hvis det samme sker på en tapetseret, kold ydervæg, vil tapetet suge vanddråberne op, og efter nogen tid vil skimmelsvampe begynde at vokse.

Tekst: B. Andersen



Kilde: Andersen et al., 2011.

Et såkaldt score plot fra en principal komponent analyse af ni danske boliger og de 41 mest almindelige svampe. Der blev taget prøver udenfor og indenfor, som er blevet DNA-sekvenseret. Jo flere skimmelsvampearter, to boliger har til fælles, jo tættere ligger de sammen. Plottet viser, at alle prøver taget udendørs (grønne punkter -O), er meget ens, mens de prøver, der er taget indendørs (Blå punkter -I), er meget forskellige. Svampearterne i rød skrift er dem, der kan vokse i vores boliger, mens dem i sort er almindelige udendørs eller på fødevarer.

For eksempel har bolig H-5-I mange sporer af *Aspergillus domesticus*, mens bolig H-4-I har mange sporer af *A. penicillioides*. Alle boliger har derimod *Taphrina* spp. (hekse-kost) udenfor til fælles, og luftes der godt ud, som hos H-6-I og H-9-I, kommer indeklimaet til at ligne udeklimaet.

én for én for at sikre os, at vores fund var korrekte,« forklarer Birgitte Andersen.

Skimmelsvampe findes der, hvor de lever

Resultatet af undersøgelsen viste, at skimmelsvampe faktisk er ret opdelte mellem udenfor og indenfor.

I prøverne udenfor fandt forskerne mange svampesporer fra champignoner og skimmelsvampe, som lever på planter. Omvendt fandt forskerne svampesporer fra forskellige fødevarer indendørs, men ikke udendørs. I prøverne indendørs fandt forskerne også svampesporer, som hverken var det ene eller det andet, og de fandt også svampesporer i de hjem, som havde skimmelvækst i murværket, gulvet eller gipsvæggene.

»Og så kunne vi se, at de personer, som lufter ud ofte, havde færre

svampesporer i hjemmet end dem, som i højere grad holdt vinduerne lukkede,« siger Birgitte Andersen.

Hun forklarer dog, at resultatet ikke som sådan er overraskende. Svampene bor meget simpelt der, hvor der er noget at vokse på. Der lever jo heller ikke isbjørne på Sydpolen – der er ingen sæler at



Tre sporer af *Ulocladium alternariae*, der har dannet de første spæde hyfer, der senere bliver til et mycelium. Det tog 4 timer fra sporerne blev gjort våde til de germinerede. Foto: Birgitte Andersen

spise. Der lever også kun pandaer i Kina, fordi de store bambusskove findes der.

»Det betyder, at hvis vi vil lede efter skimmelvækst i et hjem, skal vi ikke lede efter alle mulige og umulige svampe. Vi kan nøjes med at kigge efter dem, som specifikt vokser på de byggematerialer, som huset er bygget af. Der er heller ingen grund til at interessere sig for mængden af sporer fra *Penicillium roqueforti* i støvet på vindueskarmen. Det er ikke en indikator for, at der er noget galt,« siger Birgitte Andersen.

Nye byggematerialer – flere skimmelsvampe?

Birgitte Andersen drømmer om at være med til at bidrage til forståelsen af hver enkelt spore i hver enkelt bygning. Hun vil vide, hvad der vokser i bygninger, hvorfor det vokser i bygningerne, og om det

kan have betydning for helbredet. Den viden skal gerne gøre det lettere for sagkyndige rundt om i verden at lave DNA-undersøgelser af skimmelpåvirkninger og på baggrund af svaret vide, hvad de ser på, og hvad der er nødvendigt at gøre ved det.

Dette behov for bedre at forstå skimmelsvampene bliver i fremtiden endnu mere nødvendigt i takt med, at vi får nye byggematerialer ind i vores hjem. Cement og beton er dårligt for miljøet, og flere og flere byggefirmaer kigger i retning af organiske materialer til at erstatte dem. Det kan dreje sig om beklædningsplader af ålegræs eller isolering lavet af hør eller hamp.

Materialerne vil være geniale at benytte i vores bygninger, fordi de kan være miljøvenlige at producere og samtidig lagre en masse CO₂ i vores bygninger, så det ikke ender i atmosfæren.

»Problemet er bare, at vi på nuværende tidspunkt ikke ved, hvilke skimmelsvampe der lever i ålegræs eller hamp. Derfor ved vi heller ikke, hvad der sker med disse byggematerialer, hvis de bliver fugtige eller våde. Hvad gror der så i dem, og hvordan påvirker det vores helbred?« siger Birgitte Andersen.

Giftige skimmelsvampe i presset græs

Problemet bliver kun endnu større, hvis det drejer sig om skimmelsvækst, der er skjult for det blotte øje. Sidder skimmelsvampen i en stor plamag midt på væggen, er den til at få øje på. Men drejer det sig om en skimmelsvamp i en lidt fugtig isoleringsplade af hamp inde i væggen, er det en helt anden sag, og så kommer de sagkyndige til kort. Det gør de især, hvis de end ikke ved, hvad de skal lede efter. Problemstillingen er de skimmelsagkyndiges værste mareridt.

Et andet problem er, at forskere endnu ikke kender nok til alle svampes livscyklus til at vide,



En meget inficeret spånplade i bunden af et vaskeskab i en kælder. Kælderen blev oversvømmet under det store skybrud i 2011 i København. Den blåmalede bundplade viser vækst af *Aspergillus* spp., *Chaetomium* spp., *Penicillium* spp. og *Ulocladium* spp.

Foto: Birgitte Andersen

hvordan de skal lede efter dem, og hvad de skal tolke på resultaterne, hvis de finder dem i for eksempel støvet på toppen af en dørkarm.

Tag som eksempel skimmelsvampen *Stachybotrys chartarum*, som på engelsk kaldes for "black killer fungus". Den elsker fugtige gipsplader og kan være særdeles skadelig for helbredet. Samtidig er den ikke så begejstret for at blive aflejret i støv. Det vil sige, at det ofte kan være svært at finde den der, og hvis de sagkyndige blot finder én spore fra *S. chartarum* i en støvprøve, ved de i dag, at noget er galt.

»Samlet set drømmer jeg om, at jeg, inden jeg går på pension, kan være med til at udvikle en liste over alle de svampe, som kan leve i vores huse, og hvor og hvordan man skal lede efter dem. Det gælder både for de svampe, som sætter sig på de byggematerialer, som vi benytter os af i dag, men også de svampe, som sætter sig på fremtidens byggematerialer, eksempelvis ålegræs, hør og hamp,« siger Birgitte Andersen.

Sidste år lavede Birgitte Andersen et projekt i samarbejde med en en-

gelsk dyrlæge, hvor hun blev kaldt ind til at lede efter skimmelsvampe i græs til hestefoder. Årsagen var, at flere heste var blevet syge af at spise foderet, men det var uvist hvorfor.

I sin undersøgelse fandt hun en masse giftige svampe, som formentlig var årsag til hestenes sygdom.

På samme tid fik hun kontakt til en kollega, som arbejdede med at lave græs om til byggematerialer. Processen med at presse græs sammen til et byggemateriale er næsten identisk med processen med at presse græs samme til hestefoder.

»Hvis disse skimmelsvampe, som var årsag til hestenes sygdom, også kan trives i dette nye byggemateriale, skal de bestemt ikke blive for våde inde i vores huse, før vi har et stort problem. Samtidig kan jeg ikke sige, om skimmelsvampe er farlige for mennesker, før jeg har undersøgt det. Den slags bør vi finde ud af snart og gerne inden, at vi begynder at bygge en masse bygninger med isolering og vægge af græs og hamp,« siger Birgitte Andersen. ■

Videre læsning:

Webside: skimmel.dk

Videnskabelig artikel: Andersen et al., *Associations between fungal species and water-damaged building materials*, 2011. Applied and Environmental Microbiology Vol. 77, No. 12. doi:10.1128/AEM.02513-10.

Forfatterne:



Thomas Sten Pedersen er kommunikationsmedarbejder. Han er uddannet journalist fra Danmarks- Medie og Journalisthøjskole med en efterfølgende overbygning som bachelor i English Studies på Malmö Universitet og en 1-årig Master i Litteratur fra Universiteit van Amsterdam. thomas.sten.pedersen@sund.ku.dk



Christina Lehmkühl Noer er kommunikationsansvarlig. Hun har en ph.d. i adfærdsbiologi fra Københavns Universitet og København Zoo og har tidligere arbejdet med udvikling af undervisning, formidling og kommunikation på Statens Naturhistoriske Museum. cnoer@sund.ku.dk



Forskeren bag: Lektor Morten Tønsberg Limborg leder forskningsgruppen Applied Hologenomics (Anvendt Hologenomics) og herunder også de to anvendte forskningsprojekter HoloFood og HappyFish ved Center for Evolutionary Hologenomics. Morten har en ph.d. i population genomics fra DTU. morten.limborg@sund.ku.dk

Alle ansat ved Center for Evolutionary Hologenomics, Københavns Universitet

ET HOLISTISK SYN PÅ ORGANISMEN OG DENS MIKROORGANISMER

Foto: Pixabay.

Meget tyder på, at samspillet mellem en værtsorganisme og dens mikrober er enormt vigtigt for både værten og dens mikrobers udvikling. Denne erkendelse kan betyde, at vi skal til at omskrive og nytænke alt fra evolution til fødevarerproduktion.

Mere og mere tyder på, at vores eksistens medbestemmes af de mikrober, vi omgives af – altså de milliarder af mikroorganismer, der er i os, på os, og overalt omkring os. Det første mikrobiiske liv er dateret til mere end 3,5 milliarder år siden og er dermed omkring 3 milliarder år ældre end de første flercellede organismer. Med andre ord betyder det altså, at vi og alle andre flercellede organismer er udviklet i en verden, som mikrober har skabt. Derfor er det heller ikke overraskende, at forskning, som dykker ned i samspillet mellem en værtsorganisme og dens milliarder af tilhørende mikrober, finder, at disse mikrober har enorm betydning for organismers udvikling og helbred.

Dette samspil mellem værtsorganismer og deres mikrober er netop, hvad forskere indenfor det nye forskningsfelt hologenomics undersøger. I hologenomics anser man værten og dens tilhørende mikrober

som én samlet organisme. Mikrober såsom virus, bakterier, mikroskopiske svampe og andre typiske encellede organismer bærer dermed en del af ansvaret for, hvorfor organismer udvikler sig, som de gør. Tesen er, at værten og dens mikrober er i konstant samspil, hvilket afgør, hvordan værten opfører og udvikler sig. Med andre ord påvirker værten sine mikrober, mens mikroberne "skubber" tilbage og påvirker værten på et væld af forskellige måder. Ændringer i mikrobernes sammensætning vil dermed blive oversat til ændringer i værtsorganismen. Disse ændringer spænder lige fra sundhed til adfærd til udseende.

Som udtrykket antyder, er hologenomics et holistisk perspektiv, der sikrer, at forskningen ikke kun fokuserer på separate faktorer såsom miljø eller genetik, men i stedet sporer forskningen hen imod et bredt helhedsbillede af en værtsorganisme og dens mikrober. Hologenomics er i den forstand et værktøj, man kan bruge til bedre

at forstå mikrobernes betydning for deres vært gennem genetik, og værtsens genetik gennem mikrobiomet.

Mikrobiomet i fokus

Et mikrobiom er den samlede masse af mikrober, som lever på, i og omkring en værtsorganisme. Taler man om det menneskelige mikrobiom, medregner man derfor alle de milliarder af bakterier, vira, mikroskopiske svampe og andre typiske encellede organismer, som lever i, på og til dels også omkring mennesket. Mikrobernes samlede arvemateriale (metagenomet) kan ses som en forlængelse af værtsorganismens egen arvemasse – dens genom – men værtsorganismens miljø og adfærd påvirker også sammensætningen af mikrober.

Genomet koder for de proteiner, der udgør værtsens væv. Det vil sige, at den måde genetikken gør, at vi mennesker ser forskellige ud også gør sig gældende indvendigt eksempelvis på overfladen af tarmen. Så når vi er genetisk forskellige, er

Hologenomics forklaret

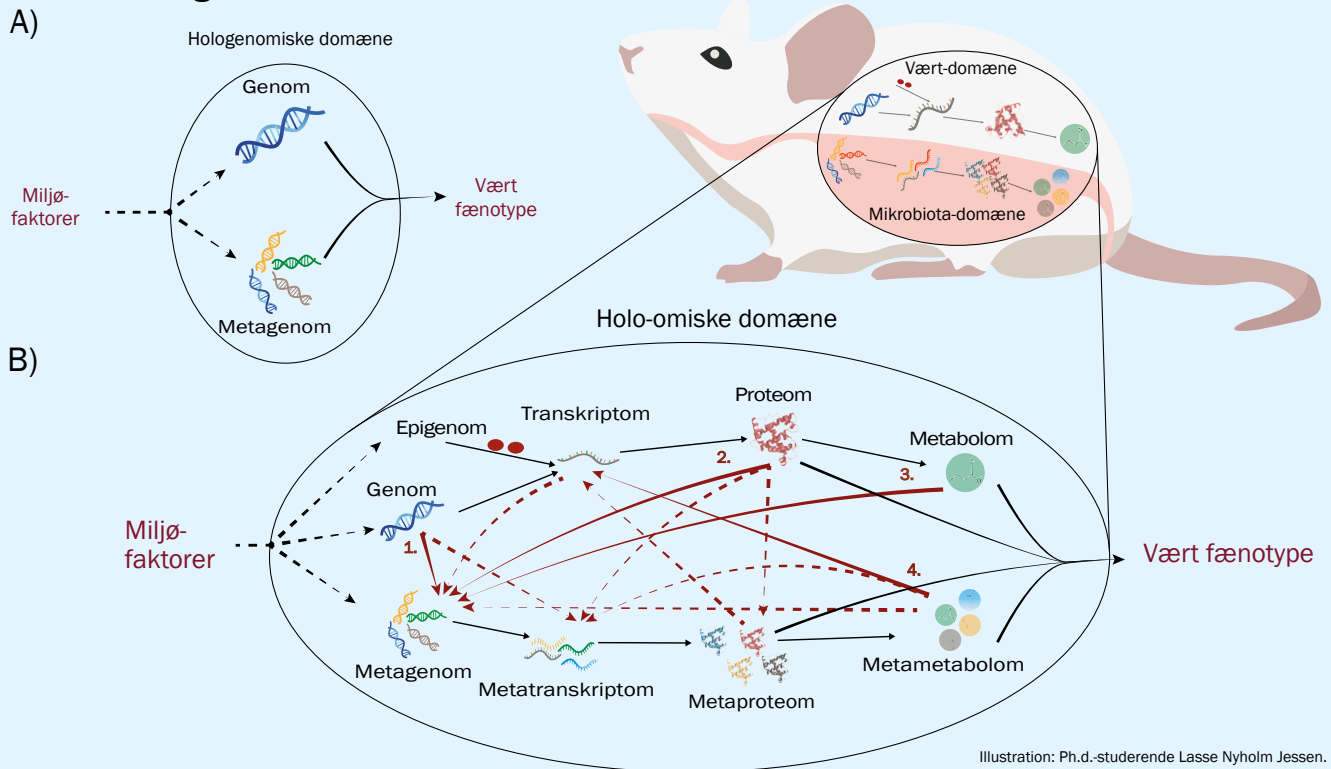


Illustration: Ph.d.-studerende Lasse Nyholm Jessen.

Figuren illustrerer, hvordan hologenomics undersøger både værtens arvemasse (genomet) og dens mikrobers samlede arvemateriale (metagenomet) for at kunne forudsige, hvordan disse sammen med deres miljø påvirker værtens udseende og funktionelle formåen, kaldet dens fænotype (A).

I B zoomes der ind på kompleksiteten i, hvordan værtens og dens mikrobers arvemateriale påvirker hinanden i alle led af processerne inde i værtten. Denne samling af værts-mikrobe interaktioner kaldes det holo-omiske domæne. Hvis man dykker ned i figuren, viser den øverste del af cirklen de forskellige niveauer, hvorpå værtten påvirkes nemlig: genomet, epigenomet, transkriptomet, proteomet og metabolomet. Nederst ses de forskellige niveauer, hvor mikroberne kan påvirkes kaldet metagenomet, metatranskriptomet og metaproteomet. Pilene på illustrationen viser interaktionerne mellem værtten og dens mikrober. De mange fagtermer defineres således:

Genomet: værtsorganismens samlede arvemateriale (DNA).

Epigenomet: Kemiske modifikationer på vores DNA,

som ikke ændrer selve DNA-sekvensen, men som har betydning for, hvilke gener der er aktive i cellen.

Transkriptomet: Den samlede mængde af enstrengede RNA-sekvenser, som er blevet transkriberet fra værtens aktive gener og eventuelt senere oversættes til proteiner i cellen.

Proteomet: Den samlede mængde proteiner, der findes i en vævsprøve på et givet tidspunkt.

Metabolomet: Den samlede mængde metaboliske molekyler i en prøve, for eksempel fedtsyrer og aminosyrer i tarmen, og som kan være syntetiseret af enzymer fra enten værtens eller mikrobernes gener.

Metagenomet: Den samlede arvemasse fra alle de mikrober, der findes i en prøve, for eksempel tarmen.

Metatranskriptomet: Den samlede mængde af enstrengede RNA-sekvenser, som er blevet transkriberet fra alle mikrobernes aktive gener og eventuelt senere oversættes til proteiner i eksempelvis tarmen.

Metaproteomet: Den samlede mængde proteiner, der findes i en vævsprøve på et givet tidspunkt, og som er lavet på baggrund af gener i mikroberne.

vores tarmes mikrobiomer også forskellige. Det betyder, at der er individuel forskel på, hvilke bakterier som trives i vores tarme, og hvilke der ikke gør.

Taler man om et mikrobiom, taler

man derfor om en levende, individuel og dynamisk masse, som med hologenomiske øjne bør anses som afgørende for værtens udvikling. Netop fordi et mikrobiom både er levende og påvirker dets værts udvikling, er forskning i interaktionen

med værtten spændende. Forstår man, hvordan en specifik mikrobessammensætning i et mikrobiom påvirker værtten, og hvorfor den gør det, kan man manipulere mikrobessammensætningen på en måde, som gavner værtsorganismen.

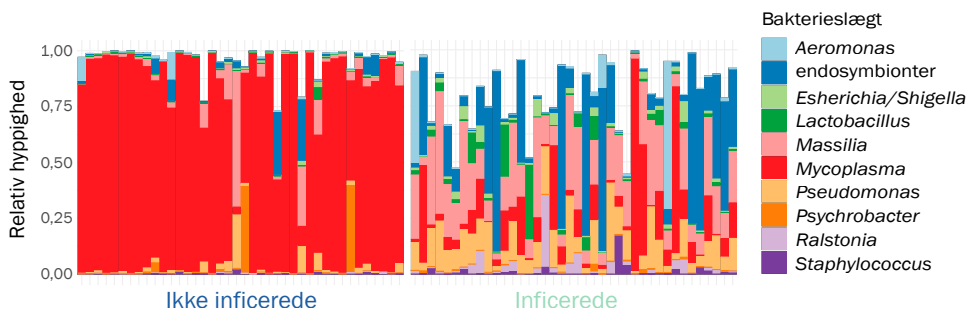


Foto: Colourbox.

Akvakultur og ny hologenomisk forskning

Akvakultur er den hurtigst voksende fødevarerindustri lige nu, og derfor har ethvert fremskridt i bæredygtig retning enormt potentiale. Ny hologenomisk forskning har blandt andet fundet en sammenhæng mellem mangfoldigheden af *Mycoplasma*-bakterien og sundheden af norske opdrætslaks, samt hvor store laksene vokser sig. Dette forskningsresultat kan være svaret på et mysterium, akvakultur har døjet med siden sin begyndelse, nemlig at nogle laks vokser sig til 1 kilo, mens andre fra samme kuld, besætning og miljø vokser sig til 10 kilo. De store laks i disse kuld har allesammen

mangfoldighed af *Mycoplasma* i deres tarm-mikrobiom. Meget tyder derfor på, at akvakultur kan effektivisere foderbrug og mindske sygdomsudbrud i deres laksebestande, hvis de sikrer mangfoldighed af *Mycoplasma* i laksene, eksempelvis med probiotika. Arbejdet med at bruge hologenomics til at forbedre akvakulturs bæredygtighed er støttet af EU H2020-projektet HoloFood og Danmarks Frie Forskningsfond via projektet HappyFish. Netop HappyFish forsker i, hvordan akvakultur kan gøres mere bæredygtigt ved at anvende det hologenomiske perspektiv.



Figuren viser sammenhæng mellem mangfoldighed af *Mycoplasma Salmonae*, en typisk tarmbakterie i Atlanterhavslaks, og hvor store og sunde de vokser sig. Den røde farve viser *Mycoplasma*. "Inficeret" betyder, at disse fisk blev smittet med en sygdomsfremkaldende bakterie, mens de andre er raske fisk. Figur af ph.d-studerende Jacob Agerbo Rasmussen.

Mavens magt

Et af de mest betydningsfulde mikrobiomer i mennesket er tarmen, og der bliver derfor forsket rigtigt meget i tarmens mikrober. Nye studier har vist, at tarmens mikrober er med til at påvirke alt fra appetit og humør til livsstilssygdomme i mennesker, og det er tilmed lykkedes forskere at få sunde rotter til at udvise depressionstræk og frygtssom adfærd ved at transplantere afføring fra frygtssomme til sunde rotter. Det nye behandlingsfelt indenfor fæcestransplantation udnytter netop også tarmen og dens mikrobers påvirkning af mennesket

til at genskabe en flora i balance, som kan have været tabt under for eksempel skrap antibiotikakur. Desuden bliver eksempelvis 95% af signalstoffet serotonin produceret i menneskets tarmceller, hvilket påvirker søvn, appetit og sindsstemning. Tarmens mikrober er altså ikke bare med til at nedbryde den mad, du spiser. De er også med til at skabe et miljø i dine tarme, som er mere eller mindre gunstig for dig.

Maven og mikrobernes magt er altså et forskningsområde i vækst indenfor flere discipliner og har blandt andet stadig uforløst poten-

tiale indenfor behandling og personlig medicin. Det hologenomiske perspektiv kan hjælpe med at indfri potentialet, netop fordi der genetisk tages højde for både værten og alle dens mikrober. Et menneskes mikrobiom er nemlig unikt, og det ændrer sig over et liv. Der er derfor ingen tommelfingerregel for, hvilken mikrobekombination der skaber balance i et menneske. Derfor skal personlig medicin eller probiotika skræddersyes til både patientens unikke genom såvel som mikrobiom for at kunne manipulere dets samspil med værten til det bedre. Det samme gælder



VIRKSOMHEDER SØGER GYMNASIER

– der vil samarbejde om et undervisningsforløb

Gør din undervisning praksisnær og anvendelsesorienteret. Ving kernestof eller supplerende stof af i læreplanen. Sæt karrierelæring på skemaet og vis eleverne, hvad naturvidenskab og teknologi kan bruges til i virkeligheden. Vis dem, hvordan en virksomhed arbejder i praksis med bæredygtighed og FN's Verdensmål. Skab variation i din undervisning. Samarbejd med en virksomhed.



Scan og find et forløb med en virksomhed tæt på dit gymnasium
nvhus.dk/undervisning/tekcases-til-gymnasier

Yderligere læsning:
Review-artikel om hologenomics af CEH's forskere i tidskriftet *Nature Reviews Genetics*: www.nature.com/articles/s41576-021-00421-0

Perspektiverende artikel om Holo-Omics: Integrated Host-Microbiota Multi-omics for Basic and Applied Biological Research af ph.d.-studerende Lasse Nyholm Jessen og kollegaer: doi.org/10.1016/j.isci.2020.101414

Videnskabelig artikel om, hvordan frygt kan linkes til tarm-mikrobiomet af CEH ph.d.-studerende Lara Puetz og kollegaer: Gut Microbiota Linked with Reduced Fear of Humans in Red Junglefowl Has Implications for Early Domestication. *Advanced Genetics*, Vol. 2, iss. 4. 2021 onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ggn2.202100018

Videnskabelig artikel om, hvordan laks' tarmmikrober korrelerer med sygdom skrevet af kandidatstuderende Davide Bozzi, ph.d.-studerende Jacob Agerbo Rasmussen og kollegaer fra CEH: animalmicrobiome. biomedcentral.com/articles/10.1186/s42523-021-00096-2

Videnskabelig artikel om hvordan regnbueørredens egne gener reagerer i samspil med tarmbakterierne under sygdom af Rasmussen, J.A. et al (2022): Integrative analyses of probiotics, pathogenic infections and host immune response highlight the importance of gut microbiota in understanding disease recovery in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Applied Microbiology*, 00, 1–16. doi.org/10.1111/jam.15433

fæcestransplantationer, som kan gøres sikrere og mere effektive, når der er så stor genetisk lighed mellem donor og patient som muligt. Kernen af det hologenomiske perspektiv, samspillet mellem en vært og dens mikrober på genetisk niveau, kan i denne forstand bruges til at forbedre den nye forskning i mavens magt over mennesket.

Hologenomics' brede anvendelse

Mens mikrobiomet spiller en afgørende rolle for værtens helbred og udvikling, går hologenomics endnu dybere til værks end "blot" at se på samspillet mellem vært og mikrobiom. Det gøres ved både at analysere værtens og mikrobernes arvmasse gennem gensekventering. Man kan sige, at mikrobiomet er en måde, vi afgrænser, hvilke mikrober vi kigger på, og hologenomics er måden, hvorpå vi undersøger mikrobiomets genomer og deres indflydelse på værten. Det er altså ikke kun enkelte gener, man ser på i hologenomics, men hele arvmassen for både værtsorganismen og dens tilhørende mikrober.

Det er relativt nyt, at man overhovedet kan redegøre for både værtens og mikrobernes arvmasse. Det er blevet muligt af nye teknologiske landvindinger indenfor DNA-sekventering og computerkraft, som gør det muligt at analysere de kæmpe mængder data, og vi er stadig kun i forskningsfeltets spæde start. Hologenomics har taget disse teknologiske landvinder i brug for at undersøge samspillet mellem vært og mikrober. Dette perspektiv åbner op for nye muligheder for at optimere og effektivisere alt fra medicin til fødevarerproduktion på land og i vand.

Hologenomics og dets potentiale spænder altså bredt, og mens det potentielt kan nuancere måden, vi tænker de store strøg såsom evolution på, har det samtidig stort praktisk potentiale i flere betydningsfulde industrier som medicin og fødevarerproduktion. Et praktisk eksempel på anvendelse af hologenomics er HoloFood-projektet.

Det nye forskningsfelt hologenomics

Hologenomics er et helt nyt felt indenfor grundforskning i en værtsorganismes og dens mikroorganismers genomer. Hologenomics er måden, hvorpå vi undersøger mikrobiomets genomer og deres indflydelse på værten. Det er altså ikke kun enkelte gener, man ser på i hologenomics, men hele arvmassen for eksempelvis både mennesket og dets tilhørende mikrober.

Center for Evolutionary Hologenomics (CEH) er en del af GLOBE Institutet på Københavns Universitet og er indtil videre det eneste forskningscenter i verden, som dykker ned i det nye hologenomics felt. Centeret åbnede i 2020 med støtte fra Danmarks Grundforskningsfond og ledes af Professor Tom Gilbert. CEH har 60 associerede forskere og ansatte, inklusiv 29 postdocs og ph.d.-studerende. Læs mere om CEH på vores hjemmeside www.ceh.ku.dk. Video om CEH her: youtu.be/4HrBTaf_xow

En bæredygtig fødevarerproduktion

HoloFood udnytter den nye viden om vært-mikrobe-forholdet til at gøre verdens fødevarerproduktion mere bæredygtig. Projektet fokuserer på at optimere særligt akvakultur og fjerkræproduktion ved at tage højde for det enkelte individs mikrobersammensætning og bruge dette til at forbedre dyrenes sundhed og trivsel. Den hologenomiske tilgang gør, at man kan skræddersy fodersammensætningen med probiotika, hvilket er et fodertilskud med udvalgte mikrober, tilpasset til det enkelte dyr og dets mikrobiom.

Som eksempel har norske og chilenske laks afgørende genetiske forskelle, og derfor findes der ikke et universelt gavnligt foder eller probiotika til laks. I stedet bør foderet udvikles specifikt til den individuelle laksestamme, hvilket kan give bedre vækstresultater med mindre spild. Man kan med andre ord få flere og sundere laks for mindre foder, hvilket i stor skala kan have enorm effekt på fødevarerindustriens bæredygtighed.

Rent praktisk undersøger HoloFood sammensætningen af dyrenes tarm-mikrober ved at indsamle afføringsprøver, som bliver gen-sekventeret og sammenlignet med referencer fra sunde dyr, der vokser, som de skal. På den måde bliver vært-mikrobe dataen brugt til at afgøre, hvilke probiotika man

skal tilføre fodersammensætning. Foruden de bæredygtige fordele ved at effektivisere foderbrug sikrer det desuden højere grad af velfærd hos produktionsdyrene og lader industrien sætte ind mod fejllærning eller med medicin mod potentielle sygdomsudbrud i en besætning.

En fremtid med hologenomics

Den indsigt i samspillet mellem vært og mikrober, som hologenomics frembringer, kan bringes i spil i et væld af industrier. Som tidligere nævnt er det et yderst brugbart perspektiv i personlig medicin til bedre at kunne skræddersy behandling til den enkelte patient, men også som værktøj til, når man skal vælge donorer af både fæces og organer til transplantationer. Foruden mennesker og dyr forskes der desuden også i, hvordan det hologenomiske perspektiv kan bruges til at forstå og modificere planter og afgrøder til bedre at kunne modstå en fremtid med tørke og mere ekstremt vejr, som følge af klimaforandringer.

Hologenomics er stadig et ungt forskningsfelt, hvis fulde anvendte potentiale er ved at blive kortlagt og undersøgt. Allerede nu er det dog klart, at samspillet mellem værtsorganisme og dens mikrober bringer nye dimensioner til alt fra planter til mennesker og medicin, til fødevarer på land og i vand, og hvordan vi bør anskue evolution i en mikrobiel verden. ■

MØD AARHUS UNIVERSITET TIL GIRLS' DAY IN SCIENCE 2022

Girls' Day in Science er en kampagedag, der inspirerer piger til en fremtid med naturvidenskab, teknologi, IT og håndværk. Over hele landet inviterer virksomheder, organisationer og uddannelsesinstitutioner piger fra grundskoler og gymnasier indenfor. Her møder pigerne kvindelige rollemodeller. De deltager i virkelighedsnære workshops og oplever med egne øjne, hvordan de kan gøre en forskel med naturvidenskab og teknologi.

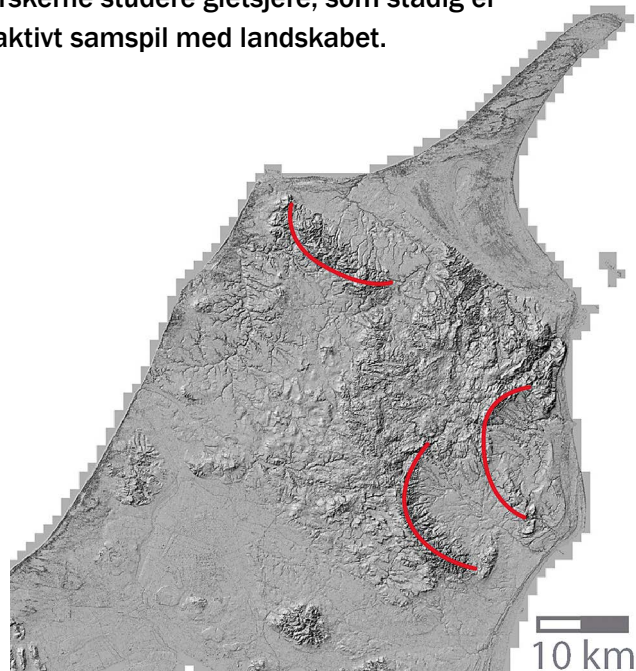
#GIRLSDAYINSCIENCE

FORTID OG NUTID MØDES PÅ SVALBARD

Hvis man gerne vil opleve, hvordan det danske landskab kunne have set ud, da den seneste istid sluttede, er Svalbard et godt sted at besøge. Her kan forskerne studere gletsjere, som stadig er i aktivt samspil med landskabet.

Hvis du bor i Nordjylland, har du måske bemærket de stejle bakker og skrænter omkring Frederikshavn, eller hvis du bor i Aarhus, har du måske stærke lårmuskler takket være cykling op ad alle bakkerne omkring byen. Har du nogensinde undret dig over, hvorfor vi egentlig har så mange bakker i Danmark? Forklaringen findes tilbage i sidste istid, da Danmark var dækket af tykt lag is, der som en bulldozer skubbede rundt på en masse materiale og formede vores landskab. På et tidspunkt forsvandt al isen, og vi stod tilbage med det kuperede/bakkede landskab, som vi kender i dag. Hvordan det præcist foregik, og hvorfor al isen forsvandt, er svært at sige uden at rejse tilbage i tiden.

Tidsmaskiner findes endnu ikke, men man kan gøre noget andet for at forstå, hvordan det danske landskab er skabt, og hvordan gletsjere egentlig opfører sig i et klima under forandring. Det gælder om at finde et sted i verden, der ser ud, som Danmark gjorde under istiden. Grønland er en god analog, men øgruppen Svalbard, der ligger kun cirka tusind kilometer fra



Terrænmodel over Vendsyssel, hvor tre eksempler på randmoræner er vist med rødt. Kilde: Dataforsyningen

Nordpolen, er næsten endnu bedre. En fordel ved Svalbard er, at det er relativt let at komme derop med fly fra vores nabolands hovedstad (Oslo), og at der på Svalbard findes et universitetscenter, hvor man kan indskrive sig som studerende og dermed få adgang til en masse arkiver med gammelt materiale fra tidlige ekspeditioner til øgruppen.

Jeg studerede på Svalbard fra 2013-2016, og i løbet af min tid deroppe var jeg ude på mange gletsjereventyr og lærte meget om, hvordan gletsjerne opfører sig, når verden bliver varmere, og hvordan

de former et landskab. Denne artikel handler om min yndlingsgletsjer: Nordenskiöldbreen.

Hvad skete der med Nordenskiöldbreen?

I 2013 fandt jeg et i et arkiv på universitetsbiblioteket på Svalbard et gammelt kort over Nordenskiöldbreen. Gletsjeren ligger i Adolfbukta inderst i Billefjorden på Svalbard. Det er en meget smuk gletsjer, og den kælder højlydt, det vil sige, at der brækker større eller mindre stykker af, flere gange hver dag. Det gamle kort befandt sig i en over hundrede år gammel bog fra 1910

Om forfatteren



Lis Allaart er geolog
lis.allaart@glacialis.net
Fra august bliver
hun ansat ved GEUS
samt ved Institut for
Geoscience, Aarhus
Universitet.



Sydsiden af Adolfbukta. Personen midt i billedet står på spor efter gletsjeren: lave, aflange rygge og store sten, som er spredt ud over landskabet. De lave rygge er dannet under isen, mens de store sten blev transporteret inde i eller på gletsjerens overflade, da den bevægede sig frem. I baggrunden ses en mørk gletsjerfront: Sand, grus og sten er skredet ned på gletsjeren længere inde i landet og er blevet transporteret med gletsjeren ud til Adolfbukta. Foto: Lis Allaart

skrevet af ekspeditionslederen Gerard de Geer, der havde været på flere ekspeditioner rundt omkring det dengang stadig relativt ukendte Svalbard. På kortet var der tegnet to forskellige frontpositioner til gletsjeren, en fra 1896 og en fra 1908. Jeg ledte videre i arkivet og fandt også et par luftfotos af det samme område, men de var fra 2009 og dermed næsten hundrede år yngre. Ved første øjekast så der ud til at være stor forskel på gletsjerfrontens position fra 1896 til 2009.

På flybillederne fra 2009 bemærkede jeg endvidere nogle mærkelige, aflange striber i landskabet foran gletsjeren på begge sider af bugten. Striberne havde retning omtrent fra øst mod vest. Mod vest endte striberne i en stor, bueformet ryg nærmest vinkelret på striberne. Alle disse observationer gjorde mig mistænksom, og en ny mission startede for gletsjerdetektiven: Hvad var der mon sket med Nordenskiöldbreen fra 1896 og frem til i dag?

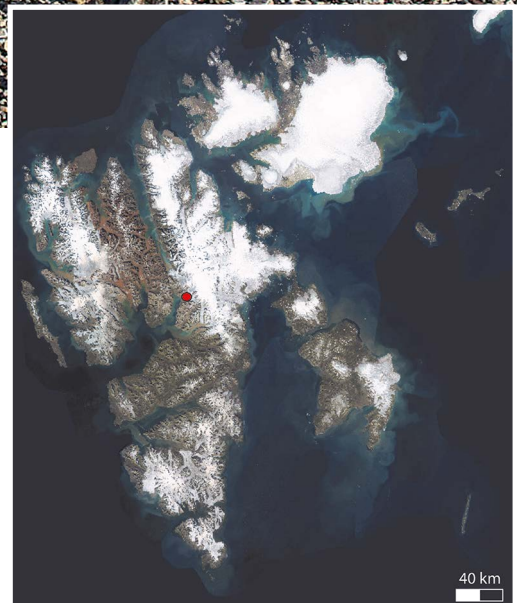
Samlede alle flybilleder

Først samlede jeg alle de luftfotos, gamle kort og satellitbilleder, som jeg kunne finde af Nordenskiöldbreen.

Jeg fandt også en scanning af fjordbunden fra 2009. Alle dataene analyserede jeg med mit gletsjerdetektivværktøj: ArcMap – et program hvor man kan arbejde med stedfæstet data og lave kort. Først lagde jeg et almindeligt topografisk kort af Adolfbukta og Nordenskiöldbreen, som jeg fik af Norsk Polarinstitut, ind som baggrundskort. Derefter importerede jeg alle flybilleder og scanninger af de gamle kort et efter et og lagde dem ovenpå baggrundskortet. Indimellem måtte jeg justere kortene/billederne lidt ved at vælge nogle faste punkter på dem og så strække dem i forhold til baggrundskortet, sådan at alle kort/billeder blev lige store og passede med baggrundskortet. Dette kaldes at georeferere.

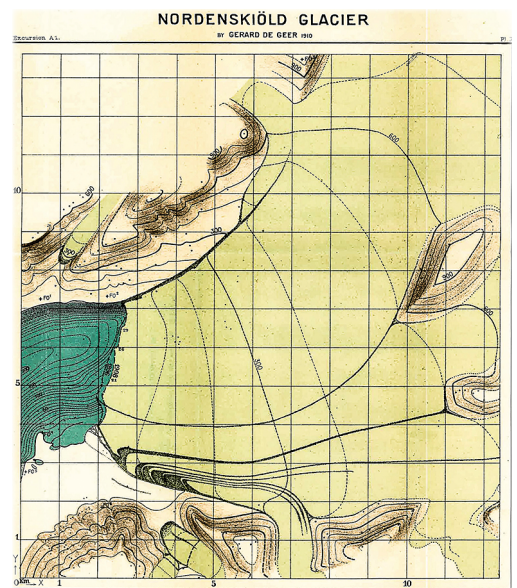
Da alle kort og billeder endelig lå korrekt, tegnede jeg en linje langs gletsjerfronten på hvert billede/kort. Hver "ny" front befandt sig længere og længere mod øst. I alt blev det til otteogtyve forskellige gletsjerfrontpositioner.

Senere satte jeg scanningen af fjordbunden og flybillederne fra 2009 sammen i ArcMap. Jeg stu-



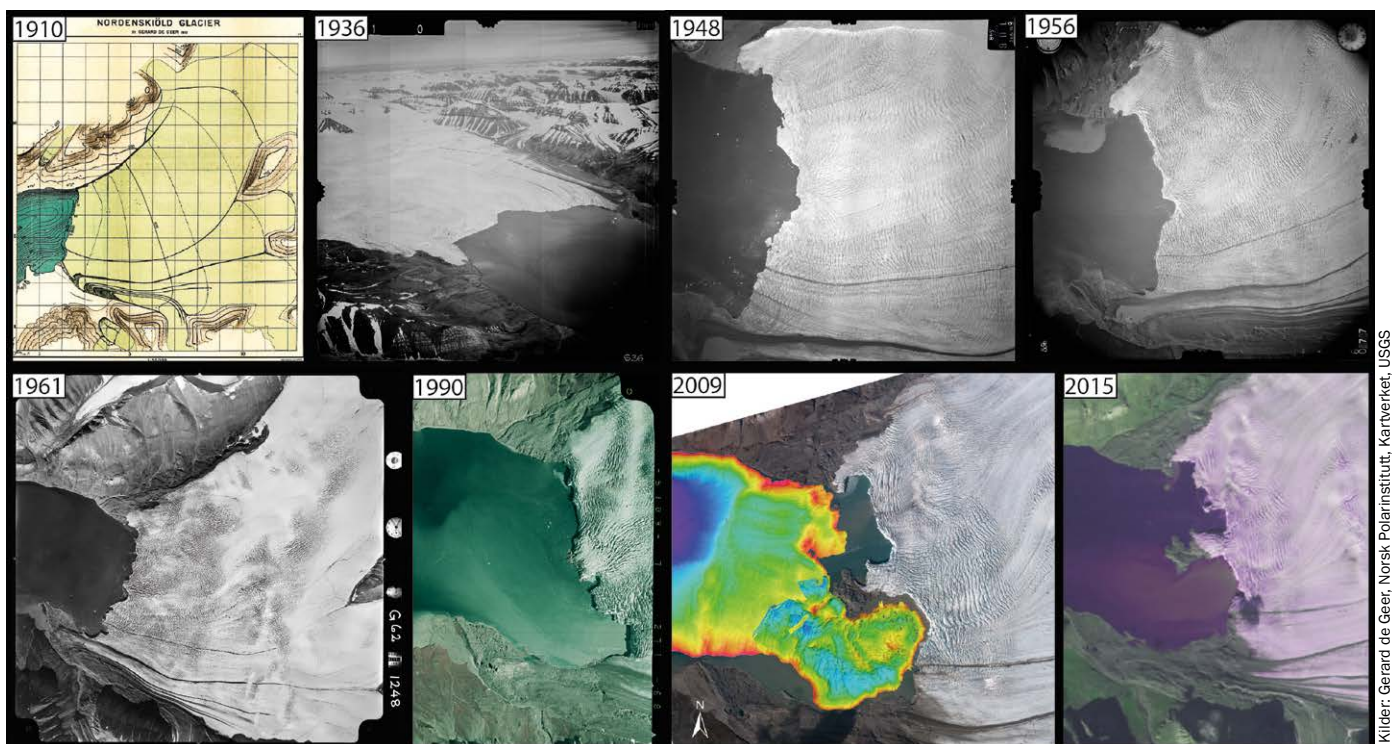
Satellitbillede af Svalbard. 60 % af landskabet er i dag dækket af is og gletsjere. Den røde prik midt i billedet viser, hvor Nordenskiöldbreen ligger.

Kilde: toposvalbard.npolar.no



Kort: Gerard de Geer 1910

Kort over Nordenskiöldbreen optegnet af Gerard de Geer i 1910. Det gulgrønne område er gletsjere, det brune er bjerge, det hvide er sletter og det blågrønne er fjorden.



Kilder: Gerard de Geer, Norsk Polarinstittutt, Kartverket, USGS

Historisk og nyere materiale dokumenterer gletsjerens tilbagetrækning. Fra 1896 til 2015 er Nordenskiöldbreen smeltet 2,3 – 3,5 km tilbage.

Korrigerig af flybilleder

Prøv at tage et billede af noget ovenfra – der sker noget med størrelsesforholdet af tingene på billedet. For at kunne bruge et flybillede som baggrund for kortlægning, er størrelsesforholdet mellem det højeste og laveste punkt på flybilledet nødt til at være ens, ellers bliver kortet forkert og høje bjergtoppe vil ende med at tage meget mere plads, end de egentlig skal. Flybilledet korrigeres for dette og processen kaldes opretning/orthoprojektion og udføres i dag ved hjælp af et billedbehandlingsprogram på en computer.

Datering med ¹⁴C-metoden

I atmosfæren findes tre forskellige isotoper af kulstof ¹²C, ¹³C og ¹⁴C. De to første er stabile, men ¹⁴C er radioaktiv og henfalder med en halveringstid på 5730 år. Dette kan man udnytte til at aldersdatere materiale, der engang har været levende. Levende organismer udveksler CO₂ med atmosfæren og afspejler derfor også det aktuelle ¹⁴C-indhold i atmosfæren. Så længe en plante, et dyr eller et menneske er levende, vil forholdet mellem antallet af de forskellige isotoper være stabilt. Optagelsen af ¹⁴C ophører, når organismene dør, hvorefter indholdet af ¹⁴C langsomt vil aftage i takt med, at ¹⁴C-atomerne henfalder til kvælstof-atomer. Ved at måle den tilbageværende mængde af ¹⁴C i forhold til mængden af de andre kulstofisotoper, kan man således regne sig frem til, hvor gammelt materialet er og på den måde for eksempel bestemme en maksimalalder for en landskabsform, man har fundet materialet i.

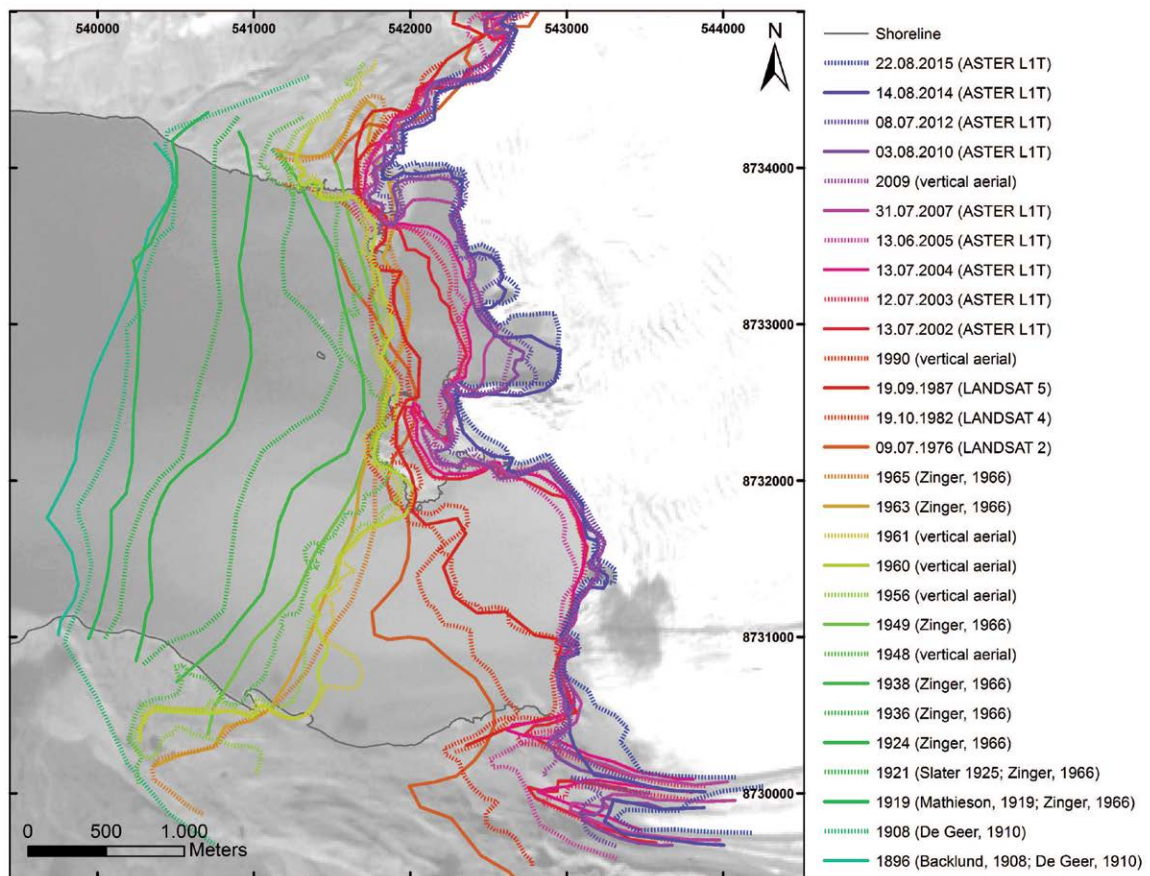
Da forholdet mellem kulstofisotoperne i atmosfæren varierer en smule over tid, har man konstrueret en universel kalibreringskurve over sammenhængen mellem de målte ¹⁴C-aldre og de kendte kalenderaldre. Den er baseret på målinger af ¹⁴C i træringe, der rækker mere end 12.000 år tilbage i tiden.

derede flybillederne og havbund-scanningen nøje og identificerede mange forskellige landskabsformer alle dannet af gletsjere. I ArcMap findes der også forskellige tegnefunktioner, og jeg tegnede alle de forskellige landskabsformer op til et samlet kort over fjordbunden og landskabet (på land). Et sådant kort kaldes et geomorfologisk kort.

Rekonstruktion af klimahistorien

For at kontrollere at det digitale kort stemte med virkeligheden, planlagde jeg en feltinspektion til Nordenskiöldbreen i august 2014. Heldigvis havde to gletsjerdetektiv-kolleger lyst til at tage med.

Hen over ti dage undersøgte vi landskabet på den nordlige side af Adolfbukta, tjekkede kortet, fotografere landskabsformerne, holdt isbjørnevagt og udvalgte et par af de aflange rygge og gravede tværsnit i dem. I tværsnittene kunne vi se forskellige lag af sediment (sand, ler, grus), og der dukkede også nogle muslingskaller op i nogle af lagene. Dette var meget overraskende, fordi det materiale, vi



Satellitbillede fra 2015 af Adolfbukta og Nordenskiöldbreen med alle de otteogtyve rekonstruerede gletsjerfrontpositioner for Nordenskiöldbreen fra 1896 til 2015. Satellitbillede: USGS 2015

gravede i, lå femogtyve meter over dagens havniveau og mindst firehundrede meter fra den nuværende kyst. Sydsiden af Adolfbukta blev undersøgt i 2015, og det geomorfologiske kort blev færdiggjort i løbet af efteråret 2015.

Da vi kom tilbage fra ekspeditionen, fik vi dateret nogle af skalfragmenterne med ¹⁴C-metoden (kulstof-14-metoden), og skalfragmenterne viste sig at være omkring ti tusind år gamle. Baseret på vores observationer fra tværsnittene, det udarbejdede geomorfologiske kort og dateringerne af skalfragmenterne, kunne vi rekonstruere områdets klimahistorie og Nordenskiöldbreenens historie fra sidste istid og frem til i dag.

Striberne i landskabet stammer fra, da isen bevægede sig fremad, og de forskellige sedimentlag fortæller, at den har gjort det flere gange siden slutningen af sidste istid. Striberne er dannet under isen

og fortæller desuden, at gletsjeren ikke var frossen til bund, men derimod kunne glide ubesværet over området. Muslingskallen, som vi fandt inde i en af striberne, fortæller, at der for omkring ti tusind år siden var højere havniveau, og at gletsjerfronten faktisk stod længere tilbage mod øst, end den gør på nuværende tidspunkt. Den buede ryg for enden af striberne er en randmoræne og viser, hvor gletsjeren stoppede op sidste gang. Den er skabt af materiale, som isen har bulldozet op foran sig. Hvis man kigger på de Geers historiske kort over Nordenskiöldbreen, kan man se, at positionen på randmorænen stemmer med positionen for gletsjeren i 1908. De mange store sten, der ligger spredt overalt i landskabet foran Nordenskiöldbreen, blev fragtet inden i eller ovenpå selve gletsjerisen og er blevet "lagt" direkte på de andre landskabsformer, da gletsjeren smeltede tilbage.

Man ved, at klimaet for cirka



Inde i de aflange rygge i landskabet fandt vi en del skalfragmenter af flere muslingskaller. Ved hjælp af ¹⁴C-metoden blev disse bestemt til at være omkring ti tusind år gamle. Foto: Nina Friis

10.000 år siden var naturligt varmt, fordi den nordlige halvkugle på grund af egenskaberne ved jordens bane omkring Solen og rotationsaksen hældning (som varierer over tid beskrevet ved de såkaldte Milankovitch-cykler) modtog mere solindstråling per kvadratmeter, end den gør i dag. Den naturlige opvarmning



Tydelige gletsjerspor i form af aflange, lavryggede striber ses i landskabet både på den nordlige og sydlige side af Adolfbukta. Foto: Nina Friis

skete gradvist over flere tusind år og peakede for cirka 10.000 til 8.000 år siden. Vores fund ved Nordenskiöldbreen (at gletsjeren da var mindre og havniveauet var højere) stemmer godt overens med det naturligt varme klima.

Formen på de otteogtyve gletsjerfrontpositioner indikerer, at isen trækker sig hurtigere tilbage, der hvor den har vand under sig. Gletsjeren er derfor meget følsom overfor havniveaustigninger og temperaturændringer i vandet. Mange andre gletsjere på Svalbard har, akkurat som Nordenskiöldbreen, også en kombineret front (de har både land og vand under sig) og har opført sig på samme måde. Kortet, som er produceret i løbet af denne

Alexander (feltassistent) står på randmorænen ved Nordenskiöldbreen. Ryggen fortsætter ned til kysten (midt i billedet). Foto: Lis Allaart

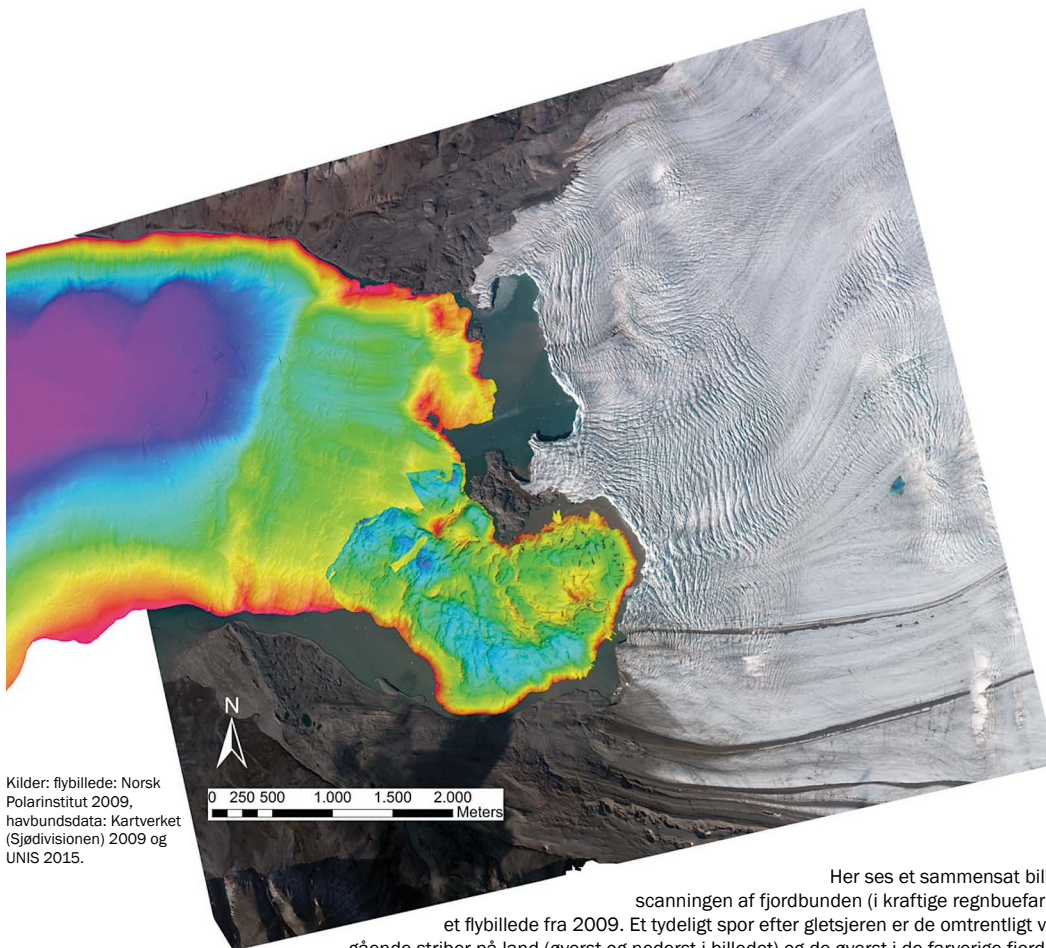
detektivmission, kan danne basis for fremtidige undersøgelser af ændringer i landskabet som resultat af den globale opvarmning. Det store spørgsmål er stadig, hvor hurtigt Nordenskiöldbreen vil smelte tilbage i løbet af de næste hundrede år?

Hvad så med Danmark?

Bakkerne omkring Frederikshavn og Aarhus blev skabt under et isfremstød for cirka 19.000 år siden og er dannet på samme måde som den buede ryg (for enden af de aflange striber mod vest) ved Nordenskiöldbreen. Begge sæt landskabsformer er randmoræner skabt af, at isen har bulldozet materiale op foran sig. Landskabsformer som de aflange striber, som ses ved Nordenskiöldbreen mellem randmorænen og da-

gens gletsjerfront, er generelt svære at finde i Danmark i dag, fordi de ofte er mindre, og derfor hurtigere bliver eroderet væk af vind og vejr. Ved Nordenskiöldbreen er det kun lidt mere end hundrede år siden, at isen dækkede hele landskabet og senest byggede på ryggen, og de står derfor tydeligt frem stadigvæk. På Lolland og Falster findes der dog nogle danske giganteksempler på aflange rygge, som stammer tilbage fra istiden, men som stadig er synlige i dag. Isdækket, som formede Danmarks landskab under sidste istid, forsvandt også på grund af den tiltagende solindstråling og deraf følgende opvarmning. Ændringerne i solindstråling følger en naturlig cyklus, og siden peaket for 10.000 til 8.000 år siden har vi bevæget os ganske sagte tilbage mod mindre solindstråling per kvadratmeter og skulle derfor alt andet lige gå mod et køligere klima. Udover solindstrålingen er der dog også en masse meget følsomme feedback-mekanismer i vores klimasystem (albedo, drivhuseffekten, hvor meget varme havet absorberer, osv.), der påvirker hvordan det reelle klima er, og hvordan jorden responderer på variationen i solindstråling. Det er disse processer, vi er i fuld gang med at påvirke med CO₂-udslip, afskovning





Kilder: flybillede: Norsk Polarinstitut 2009, havbundsdata: Kartverket (Sjødivisjonen) 2009 og UNIS 2015.

Her ses et sammensat billede af scanningen af fjordbunden (i kraftige regnbuefarver) og et flybillede fra 2009. Et tydeligt spor efter gletsjeren er de omtrentligt vest-øst gående striber på land (øverst og nederst i billedet) og de øverst i de farverige fjordbundsdata. Et andet tydeligt spor er de ujævne rygge i nord-syd gående retning på fjordbunden.

med mere, således at klimaet reelt bliver varmere, på trods af, at vi langsomt burde bevæge os mod et kølligere klima.

Ved at undersøge landskabet på

Svalbard har jeg lært mere om, hvordan en gletsjer ændrer sig og former landskabet som følge af klimavariationer. Du kan selv prøve at tage "gletsjerbrillerne" på, næste gang du befinder dig i et bakket

landskab i Danmark. Se på bakkerne og luk derefter øjnene og forestil dig en hundrede meter høj væg af is, der står på den ene side af bakkerne og presser sand, ler og grus op med et næsten usynligt tempo. ■

Videre læsning

Rejs selv til Svalbard ved hjælp af hjemmesiden: toposvalbard.nplar.no og gå på opdagelse i et moderne istidslandskab (ved at højreklikke kommer flybilledversionen frem).

Om Milankovitch-cykler: Tre cykler, sommer og en istid: *Aktuel Naturvidenskab* nr. 3-2007.

Om ^{14}C -metoden: Isotoper fortæller om fortidens kost: *Aktuel Naturvidenskab* nr. 4-2008

Nu kan du booke en lærerig ud-af-klassen-oplevelse

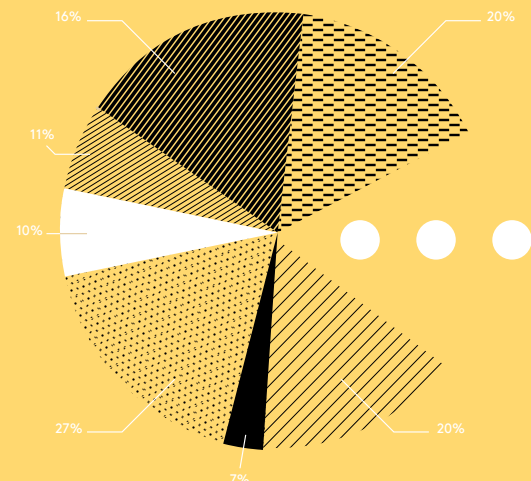
Hvis du underviser i Matematik, Fysik, Kemi, Bioteknologi eller Biologi, kan du benytte dig af vores mange undervisningsforløb, som er tilrettelagt til at supplere gymnasiernes kernestof.

Hvert år har vi besøg af hundredvis af gymnasieelever, der dykker ned i emner som:

- **Mikroplastik i havet**
- **Havets bæredygtige fødevarer**
- **Uendelighedsbegrebet**
- **Idé til pille – prøv at udvikle et lægemiddel**
- **Matematiske modelleringsforsøg med M&M's**

Læs mere om forløbene og book på sdu.dk/brobygning

Du kan også booke ved at kontakte brobygningskoordinator Allan Haurballe Madsen på tlf. 65502988 eller alhm@sdu.dk



Slangers evne til at æde kæmpestore måltider efter lang tids faste kræver fysiologiske tilpasninger, som forskerne meget gerne vil forstå til bunds.
Foto: Shutterstock.



Om Forfatteren
Kristian Sjögren,
videnskabsjournalist



Om forskerne
Tobias Wang er professor i zoofysiologi
tobias.wang@bio.au.dk



Emil Rindom er er fysiolog med speciale i stofskifteregulering og ansat som postdoc. rindom@bio.au.dk
Begge er ved Institut for Biologi, Aarhus Universitet.

SLANGER GIVER UNIKT INDBLIK I REGULERINGEN AF PROTEINSYNTESSEN

Slangar har en usædvanlig evne til at sætte gang i kroppens proteinsyntese, allerede inden fordøjelsen er startet. Forskere mistænker, at et endnu ukendt tarmhormon er afgørende i processen, og da de fleste tarmhormoner er fælles på tværs af dyrearter, kan viden om dette måske være brugbar for mennesket.

Når en slange vrider kæberne af led for at sluge en mus eller en stor rotte, kan det være mange måneder siden, at den sidst fik noget at æde. I den periode har mange af slangens kropsfunktioner og fysiologiske processer været i dvale, for at slangen ikke skulle forbrænde en masse energi, som den ikke havde.

I takt med, at musen glider gennem slangens fordøjelsessystem, sker der dog noget helt unikt inde i alle slangens celler. Den slumrende proteinsyntese knirker i gang igen. Fra at have stået på vågeblus, mens slangen fastede, skal proteinsyntesen på dupperne igen. Musen skal fortæres, og indholdet af proteiner, fedtstoffer, vitaminer osv. skal fordeles ud i alle afkroge

af slangens krop fra snuden til hale-spidsen. Men allerede inden musen overhovedet er fordøjet, har slangen sat gang i proteinsyntesen, selvom der endnu ikke er noget at lave proteiner af. Det viser en ny dansk opdagelse, der både overraskede forskerne selv og har sat gang i en masse tanker om, hvad det kan have af betydning for ikke bare slanger, men også for mennesker.

»Vores opdagelse viser, at indtag af føde udløser en hurtig form for signalering i slangen, således at den sætter gang i proteinsyntesen, allerede inden den har optaget aminosyrer fra byttet. Det kan være årsagen til det fænomen, som alle, der har med slanger at gøre, kender, nemlig at slanger, der ikke har spist i mange måneder, kan risikere at dø, når de endelig æder. Årsagen kan meget simpelt være, at de sætter gang i proteinsyntesen for at kunne fordøje måltidet, men at den energetiske omkostning ved nedbrydning og genopbygning af egne proteiner simpelthen slår slangen ihjel,« forklarer en af forskerne bag opdagelsen, professor Tobias Wang fra Biologisk Institut ved Aarhus Universitet.

Fejl i laboratoriet var ikke en fejl

Proteinsyntesen er helt essentiel for alle levende organismer. Det gælder fra de encellede mikrober i en spildevandsprøve til elefanterne på savannen eller for den sags skyld for egetræerne i Marselisborg Skovene. I slangen – og i alle andre levende organismer – er det proteinsyntesen, der sørger for, at den indtagne føde kan omdannes til nye proteiner og dermed vækst af muskler og andre organer. Når en slange spiser ét kilo mus, bliver det til cirka 500 gram ekstra slange, men først skal hele musen fordøjes, og alle musens proteiner skal nedbrydes for så at blive genopbygget som slangeproteiner.

Til sammenligning omdanner pattedyr som os næsten alt det, vi spiser, til energi, og kun meget lidt bliver arkiveret i musklerne.

I studierne af slangens fordøjelse har forskerne fra Aarhus Universitet undersøgt, hvordan slangens proteinsyntese reagerer i perioden umiddelbart efter indtag af føde. Forskerne injicerede et stof, der hedder puromycin, i slangens blodbane, og efter et par timer udtog de væsprøver fra slangens organer. Puromycin sætter sig på de ny-producerede proteiner. Ved at



Emil Rindom og specialestuderende Katja Bundgaard i gang med en operation. Foto: Tobias Wang.

Når slanger spiser

I slanger, og for den sags skyld også i mennesker, består fordøjelsessystemet af en mund, svælg, maven, bugspytkirtlen og galdeblæren, tyndtarmen og tyktarmen. Der er dog forskelle mellem slanger og mennesker. Når slangen skal sluge et bytte, der nogle gange er meget større end slangens eget hoved, gør slangen som eksempel det, at den lader sin kæbe gå af led, så den kan sluge noget, som for et menneske ville svare til at sluge en hel vandmelon. I modsætning til mennesker og de fleste andre pattedyr tygger en slange heller ikke sin mad, men lader den glide i sin helhed ned gennem svælg.

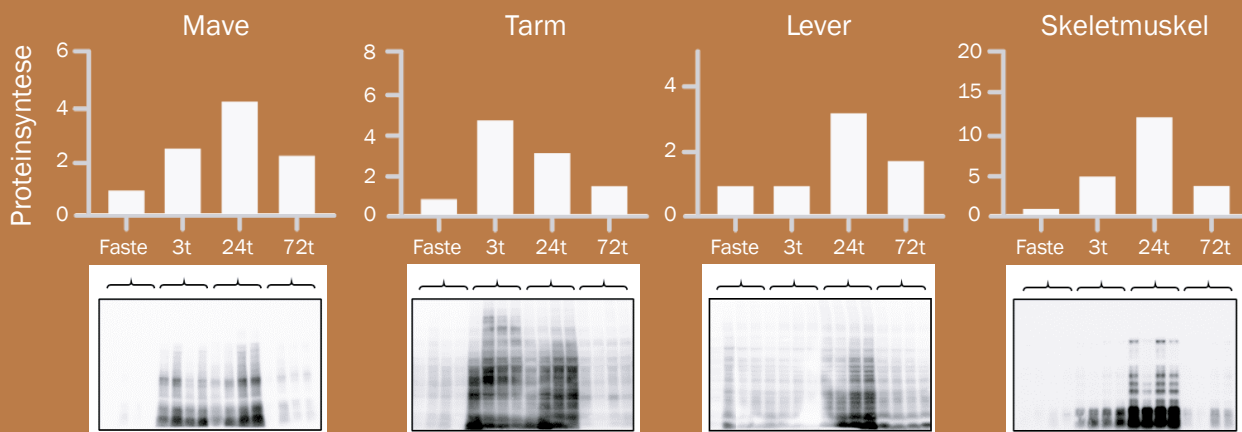
I maven udskiller slangen saltsyre, som går i gang med at nedbryde hele det spiste bytte. I saltsyrens samarbejde med enzymer og rytmiske sammentrækninger af mavemuskulaturen bliver byttet opløst til en tyktflydende væske, der med tilføjelse af baser fra



Foto: Shutterstock

bugspytkirtlen og galdeblæren bliver gjort mindre sur, så den ikke beskadiger resten af fordøjelsessystemet på sin videre rejse. Bugspytkirtlen og galdeblæren udskiller også enzymer, der kan nedbryde de enkelte komponenter som proteiner, fedtstoffer og sukre i det nu opløste bytte. Næringsstofferne skal frigives, for at de kan være tilgængelige for slangen.

I tyndtarmen bliver næringsstofferne i den flydende masse optaget over tarmvæggen til blodbanerne, som står for at transportere dem rundt i kroppen. Når væsken i tyndtarmen er tømt for næringsstoffer, fortsætter den til tyktarmen, der tømmer den for vand, inden alt det, som slangen ikke kunne bruge til noget, forsvinder ud i den anden ende. For nogle slanger er det nok at spise én gang om året.



Figuren viser den relative stigning i proteinsyntesen under faste i skeletmusklerne (til højre). Allerede tre timer efter, at slangen har slugt byttet (en mus, der vejer cirka 15 % af slangens kropsvægt), stiger proteinsyntesen knap fem gange og når helt op på 13 ganges stigning ved 24 timer. Den tidlige stigning ved tre timer er interessant, fordi slangen på det tidspunkt næsten ikke har startet fordøjelsen af musen, og der er derfor ikke optaget aminosyrer over tarmen til blodet. Stigningen i proteinsyntesen sker derfor gennem øget nedbrydning og opbygning af proteiner i musklerne. Illustration: Emil Rindom.

måle mængden af puromycin-mærkede proteiner i de forskellige væv kunne forskerne derfor få overblik over, hvor meget gang der var i proteinsyntesen i netop den periode, hvor puromycinen cirkulerede rundt i blodet. Målingerne blev foretaget på fastende slanger, før, under eller efter slangerne åd en mus.

Tobias Wangs kollega, postdoc Emil Rindom, stod for forsøgene og analyserne, og da han præsenterede forsøgsprotokollen for professoren, blev Tobias Wang lettere irriteret over, at den unge kollega havde brugt de dyrebare ressourcer på at undersøge slangerne, allerede tre timer efter de havde ædt. Den gamle professor vidste jo, at føden på det tidspunkt stadig ligger helt ufordøjet i maven. Der var derfor ingen grund til at spille tid på de målinger.

»Jeg var overbevist om, at der ikke kunne være sket noget med proteinsyntesen allerede efter tre timer. Musen er jo slet ikke fordøjet på dette tidspunkt, så hvordan i alverden skulle der kunne være gang i proteinsyntesen? Men Emils målinger viste, at der var meget store stigninger, og så måtte vi jo finde en forklaring på det,« forklarer Tobias Wang.

Ukendt signal sætter gang i proteinsyntesen

Studierne med puromycin viste, at der i alle slangens organer og væv kommer gang i proteinsyntesen, allerede inden musen er fordøjet. Der må altså blive udsendt et signal et eller andet sted inde i slangen, og det signal sætter gang i proteinsyntesen med en forventning om, at der lige om lidt vil være aminosyrer nok til produktionen af alle de proteiner, som slangen skal bruge. Forskerne kunne også se, at når de afsnørede mavesækken fra tarmen, stoppede signalet, og proteinsyntesen forholdt sig i ro. Det fik forskerne til at konkludere, at musene faktisk har meget lidt at gøre med igangsætningen af proteinsyntesen, men at det skyldes noget andet – måske signalet fra et tarmhormon.

»Tarmhormonerne er en oplagt mulighed, men vi ved ikke, hvilket tarmhormon der eventuelt kan have den stimulerende effekt på proteinsyntesen. Det undersøger vi selvfølgelig nærmere,« siger Tobias Wang.

Til gengæld er det vist, at når proteinsyntesen går i gang, er det med en intention om vækst. Da der endnu ikke er en forsyning af nye aminosyrer fra musen til at bygge slangeproteiner, gør slangen for det

første det, at den nedbryder sine egne proteiner for at have nogle aminosyrer at bygge noget som helst med. For det andet suger cellerne aminosyrer ud af blodet, så koncentrationen af aminosyrer i blodet falder. Alt det kunne forskerne se i deres analyser.

»Det nye her er, at der sker en meget hurtig omrokering af proteiner, allerede inden aminosyrerne optages fra byttet. Vi havde forventet, at proteinsyntesen ville stige under fordøjelsen, fordi så mange fysiologiske processer igangsættes, men den kolossale omrokering af protein tidligt i fordøjelsen var en overraskelse. Den anden nye opdagelse er, at det ikke bare gælder for maven, tarmen og de associerede organer, men også i skeletmuskulaturen, der ligeledes øger proteinsyntesen, allerede inden aminosyrerne optages fra føden,« forklarer Tobias Wang.

Mennesker og slanger kan dø af at få noget at spise

Tobias Wang fortæller, at en amerikansk forskningsgruppe faktisk tidligere har plæderet for konceptet "pay before pumping", altså at slanger har en stor energetisk omkostning tidligt i fordøjelsesprocessen, før de kan optage næringsstoffer fra føden. Den danske forsknings-

Sådan måler forskere proteinsyntesen

Proteinsyntesen betegner helt overordnet den proces, hvor kroppen bygger proteiner ved at sætte aminosyrer sammen i lange kæder på baggrund af den information, der er kodet i DNA'et. Informationen i DNA'et i cellekernen aflæses i form af messenger-RNA (mRNA), som transporteres ud af cellekernen, hvorefter cellens proteinfabrik, ribosomet, afkoder informationen og bygger proteinstrengen. Selve proteinsyntesen kan inddeles i faser:

- Initieringen, hvor ribosomet, der er et stort kompleks bestående af proteiner og RNA, samles omkring mRNA-strengen.
- Elongeringen, hvor aminosyrebærende tRNA (transfer RNA) binder sig til specifikke sekvenser på mRNA-strengen og afleverer deres aminosyre til den nu voksende proteinkæde.
- Termineringen, hvor en specifik sekvens i mRNA-strengen, der fungerer som stop-signal (et såkaldt stop codon), når ribosomet. Herved frigøres det nu færdige protein, og ribosomet skilles igen fra mRNA-strengen.

Proteinsyntesen

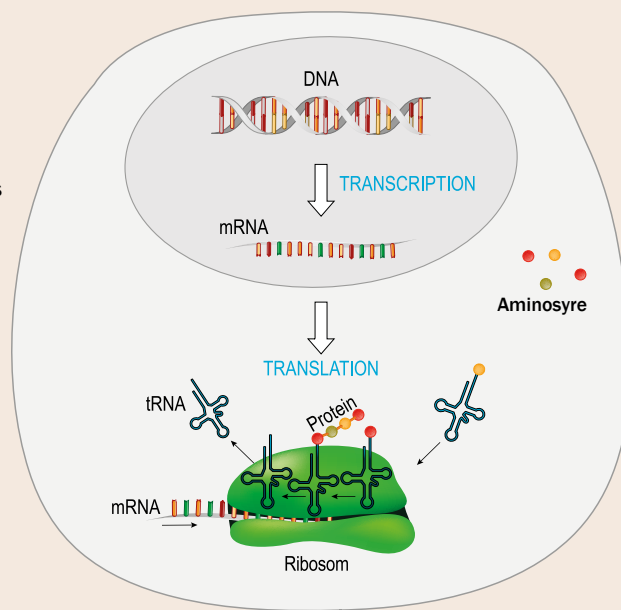
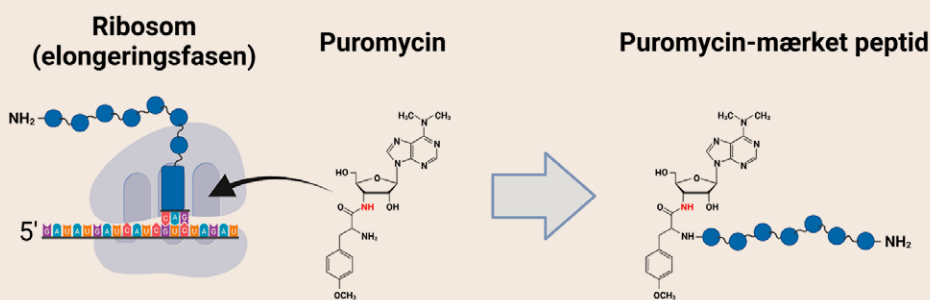
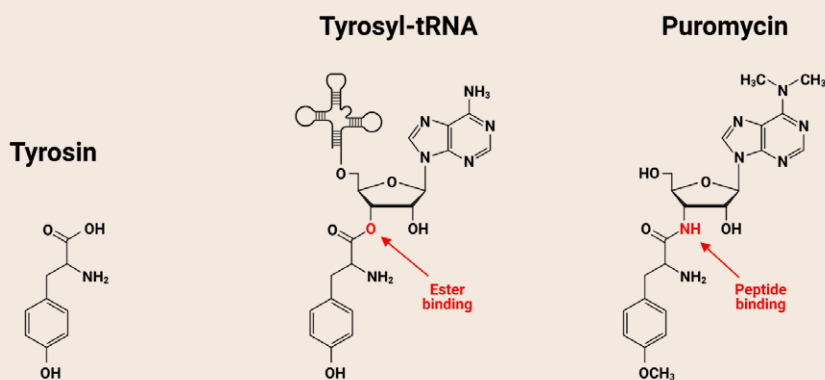


Illustration: Shutterstock

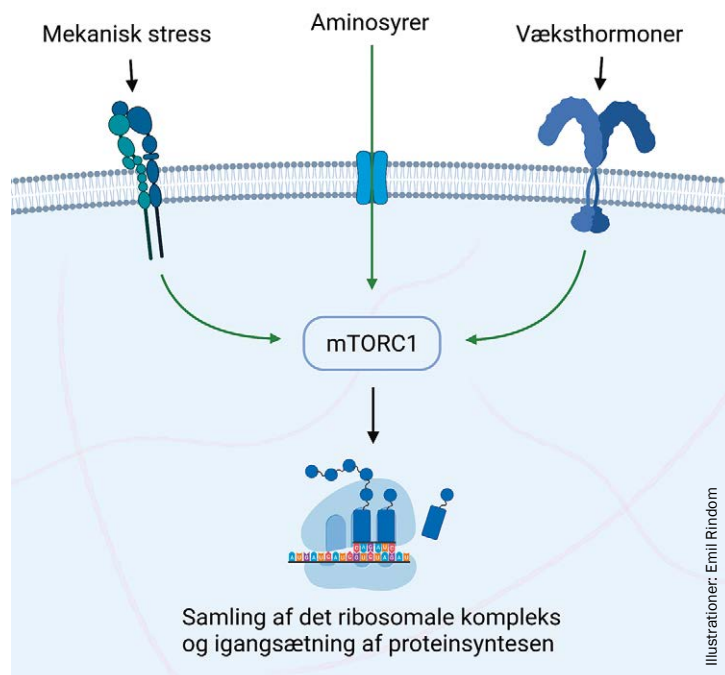


Illustrationer: Emil Rindom

I forsøgene, der ligger bag de nye opdagelser, brugte forskerne et stof kaldet puromycin – et antibiotikum med en kemisk struktur, der er analog til et tRNA-molekyle bundet til aminosyren tyrosin. Når puromycin injiceres i slangens blodbane, vil det fordeles til alle væv og kunne indgå i elongeringsfasen af proteinsyntesen i stedet for en tyrosinbærende tRNA. Puromycin mangler imidlertid den tyrosin-bærende tRNA's esterbinding og kan derfor ikke processeres som et normalt tRNA i ribosomet. Når puromycin binder sig til den voksende proteinkæde i stedet for tyrosin, resulterer det i en præmatur terminering

af proteinsyntesen, hvorved den nu puromycin-mærkede proteinkæde frigives fra ribosomet.

De puromycin-mærkede proteiner kan efterfølgende findes og kvantificeres ved simpel visualisering af antistoffer, der er specifikke for puromycin – en større mængde puromycin-mærkede proteiner svarer til en højere proteinsynteserate i den tid, hvor puromycinen var tilstede i blodet. Forskerne gentog forsøget i henholdsvis fastende og fordøjende slanger og kunne derved sammenligne mængden af puromycin-mærket protein mellem de forskellige grupper.



Figuren viser, at proteinsyntesen kan sættes i gang efter påvirkning af én eller flere udefrakommende faktorer. Blandt de bedst beskrevne igangsættende faktorer er:

- 1) mekanisk stress, eksempelvis oplevet i musklerne i forbindelse med fysisk aktivitet, eller i fordøjelsessystemet i forbindelse med fyldning af mave og tarm,
- 2) blodbårne aminosyrer, der stammer fra optagelsen af fødte fødeemner, og
- 3) væksthormoner som insulin eller insulin-like-growth factor1 (IGF1).

Fælles for alle disse faktorer er, at de aktiverer protein-komplekset mTORC1 (mechanistic target of rapamycin complex 1), der stimulerer samling af det ribosomale kompleks og igangsættelse af elongeringsfasen af proteinsyntesen.

Illustrationer: Emil Rindom

gruppe har tidligere afvist teorien igennem en række elegante studier, men må nu erkende, at der ser ud til at være noget om snakken.

»Vi tror, de amerikanske forskere har ret, om end af de forkerte grunde,« kommenterer Tobias Wang lakonisk.

Opdagelsen af den meget tidlige igangsættelse af proteinsyntesen har store implikationer for forståelsen af fordøjelse hos slanger, men kan også vise sig at være vigtig for mennesker.

Starter vi med slangerne, så antyder resultaterne, at hvis en slange æder efter langvarig faste, er den nødsaget til at nedbryde nogle af sine egne proteiner, før den kan få adgang til proteinerne og aminosyrerne i føden. Den omkostning kan blive så omfattende, at slangen dør af det.

»Det ved alle, der har slanger, om end det ikke er særligt veldokumenteret i den videnskabelige litteratur.

Det er således velkendt, at det er farligt for slanger at få for meget at æde, hvis de ikke har ædt længe. Det er også et fænomen, som vi gerne vil undersøge lidt nærmere i naturen, og som vi har igangsat et forskningsarbejde i Afrika for at undersøge,« siger Tobias Wang.

Fænomenet i slanger kan også være relevant for mennesker. Der findes i den sundhedsfaglige verden et begreb, der kaldes for "re-feeding syndrome", hvor mennesker, der har været voldsomt udsultede i lang tid, bliver endnu dårligere eller dør, når de endelig får noget at spise – præcist som man ser det med slanger. Fænomenet blev observeret i slutningen af anden verdenskrig, da russiske soldater befriede fanger fra koncentrationslejre i Østeuropa. Her døde en del af de udsultede kz-fanger, så snart de fik noget at spise. Der findes lignende beskrivelser fra hungersnød i Nordafrika og i forbindelse med ekstrem anoreksi.

Tobias Wang advarer dog om at tro, at observationen fra slanger kan forklare det hele.

»Det er et kompliceret syndrom, for der er også forstyrrelser i vandbalancen, ionbalancen og kaliumbalancen. Det skyldes ikke kun omkostningen ved at øge stofskiftet i forbindelse med at spise. Det er ikke så simpelt, men omrokering af proteiner er formentlig en del af forklaringen,« siger han.

Kan være relevant ved sygdom

Er der den formodede kobling, kan den til gengæld have klinisk relevans for mennesker.

En interessant betragtning ved slangernes fordøjelse er nemlig, at de begynder at syntetisere muskelproteiner, allerede inden musen er fordøjet. Sådan er det ikke med mennesker eller med andre pattedyr. Hos os skal der være fysisk aktivitet, for at musklerne kan vokse. Det ved alle, der gerne vil være speedo-klar til sommerferien. Vi kan ikke bare spise os til store muskler.

Når vi ikke er fysisk aktive, forsvinder vores muskler derimod i rasende fart. Det ser man blandt andet hos personer, der er sengeliggende i lang tid. Deres muskler forsvinder, på trods af at de selv som sengeliggende formentlig bevæger sig meget mere end slangen, der får større muskler uden at gøre noget som helst udover at æde.

Faktisk behøver mennesker ikke at være sengeliggende for at miste muskelmasse. Det gør vi alene ved at blive ældre. Vi mister også ofte muskelmasse i forbindelse med sygdom, eksempelvis kræft. Selvfølgelig mister vi muskelmasse i forbindelse med sygdom, eksempelvis kræft. Selve tabet af muskelmasse i forbindelse med sygdom er i sig selv prognostisk for sygdomsforløbet. Kræftpatienter, der inden diagnosen var veltrænede med større muskler, klarer sig nemlig generelt meget bedre end kræftpatienter, der inden diagnosen var utrænede.

Her bliver koblingen mellem slangers fordøjelse og mennesker rigtig

interessant. Tobias Wang og Emil Rindom håber nemlig, at der er en mulighed for i slanger at identificere det eventuelle tarmhormon, som aktiverer proteinsyntesen og opbygger musklerne uden fysisk aktivitet. Kan forskerne identificere tarmhormonet, er det overvejende sandsynligt, at det også findes i mennesker. De fleste tarmhormoner er nemlig velbevaret på tværs af alle dyrearter. De bliver blot udtryk stærkere i nogle dyr end i andre.

Tobias Wang formulerer det således, at alle dyr render rundt med den samme "værktøjskasse" af proteiner. Nogle dyr har en stor sav, men en mindre svensk nøgle, mens andre dyr har en lille sav og en stor svensk nøgle. Pointen er, at alle dyrene har de samme værktøjer. Deres effekt er den del, som varierer fra art til art.

»Det er ikke sådan, at der ligger noget helt andet i slangens værktøjskasse, som ikke findes i vores. Derfor kan vores opdagelse vise sig at være særdeles spændende. Kan vi identificere det tarmhormon i slanger og derefter i mennesker, kan vi også finde ud af, hvordan vi muligvis kan stimulere protein-



Hvis forskerne kan identificere det tarmhormon, de mistænker for at aktivere proteinsyntesen hos slanger, vil dette tarmhormon sandsynligvis også findes hos mennesker. Og det vil potentielt kunne give dem ideer til muskelopbyggende behandlinger, der kan komme mange forskellige patientgrupper til gode. Foto: Tobias Wang.

syntesen hos sengeliggende og/eller kræftsyge patienter, så vi kan forhindre tabet af muskelmasse. På den måde vil mange patienter kunne klare sig bedre gennem sygdomsforløbet,« forklarer han. Faktisk har Tobias Wang og Emil

Rindom netop nu modtaget en større bevilling fra Novo Nordisk Fonden til at undersøge reguleringen af proteinsyntese og muskelfunktion i både fordøjende slanger og patienter sammen med forskere på Aarhus Universitetshospital. ■

Videre læsning
Læs mere om Tobias Wangs forskning i slanger:

Grovæderens tarm:
Aktuel Naturvidenskab nr. 4-2002

Slangens hemmeligheder:
Aktuel Naturvidenskab nr. 6-2015

SDU
Ingeniøruddannelserne

sdu.dk/ing #sduing

GO
Go Get IT Girls

SOS - kære gymnasielærer: IT-branchen mangler kvinder

For at inspirere unge piger til at vælge en karrierevej inden for IT, tech og software, har vi i samarbejde med House of Code, Hesehus og Universal Robots udviklet en række gratis workshops i Odense i 2022. Her kan deltagerne smage på, hvad kunstig intelligens er, hvordan man koder en hjemmeside, bygger et computerspil og meget andet. Tilbuddene ligger i tidsrummet 17-19, og pizza er inkluderet.

IT er for alle, og det er afgørende at kvinders stærke og komplekse hjerner også kommer i spil, når vi udvikler verdensændrende teknologier, software, innovation m.m.

Så spred budskabet til dine kvindelige elever, din datter, din niece m.fl. og hjælp med at skabe mere diversitet inden for STEM-området.

For mere information og tilmelding www.sdu.dk/gogirls

Ved spørgsmål, tøv ikke med at kontakte os på:
65 50 73 34 eller mhoy@tek.sdu.dk

Oliepalmeplantage i Guatemala.
Foto: Natalia Vargas

Forfatterne



Oscar Alberto Rojas Castillo er ph.d.-studerende ved Ferskvandsbiologisk Sektion, Biologisk Institut, Københavns Universitet.



Sebastian Kepfer-Rojas er adjunkt ved Sektion for skov, natur og biomasse, Institut for geovidenskab og naturforvaltning, Københavns Universitet.



Dean Jacobsen er lektor ved Ferskvandsbiologisk Sektion, Biologisk Institut, Københavns Universitet.
djacobsen@bio.ku.dk

OLIEPALMER:

En stigende trussel mod tropernes biodiversitet og ferskvande?

Der er en voldsom vækst i arealet tilplantet med oliepalmer på verdensplan. Det har rejst bekymring for konsekvenserne for biodiversiteten og ferskvandsystemer i tropene. Forfatterne har forsøgt at skaffe sig et overblik over undersøgelser, der har studeret effekten af oliepalmeplantager på den lokale biodiversitet.

Vi har alle haft med den at gøre, måske uden at vide det, *Elaeis guineensis*, almindelig kendt som oliepalmen. Den dækker hele 40 % af vores samlede forbrug af vegetabilsk olie, hvilket gør palmeolie til den mest konsumerede vegetabiliske olie på verdensplan, og anvendes i fremstillingen af hundredvis af fødevarer og kosmetiske produkter. Imidlertid repræsenterer oliepalmer kun 9 % af de landbrugsarealer, som dyrkes med henblik på fremstilling af olie, fordi det er den mest effektive afgrøde, når det gælder produktion af vegetabilsk olie. Den producerer fra 3,5 til 4 tons per hektar, hvilket er markant

mere end for eksempel raps (0,6 tons per hektar) og soja (0,8 tons per hektar). I løbet af de seneste 20 år er det samlede areal tilplantet med oliepalmer fordoblet, og denne stigning ventes at fortsætte. I nogle områder som Guatemala er ekspansionen nærmest eksplosiv.

Palmeolie versus biodiversitet i tropisk regnskov

Umiddelbart synes palmeolie derfor at være den oplagte kandidat til at erstatte mindre effektive og dermed mere arealkrævende olieafgrøder. Imidlertid er der det problem, at oliepalmer kun trives i våde tropiske lavlandsområder, hvis naturlige vegetation er tropiske regnskove,

velkendte for deres meget høje biodiversitet. Ekspansionen af oliepalmeplantagerne ses derfor ofte som en alvorlig spiller i klodens igangværende tab af biodiversitet. Der har da også i de senere år været øget fokus på biodiversitet i oliepalmeplantagerne, særligt efter indførelsen af certificeringsprogrammer, der har til formål at sikre en mere bæredygtig produktion under hensyntagen til biodiversitet og miljø. Den certificerede del af produktionen er også markant stigende.

Antallet af videnskabelige undersøgelser af effekterne på biodiversitet er også tiltagende, men der er

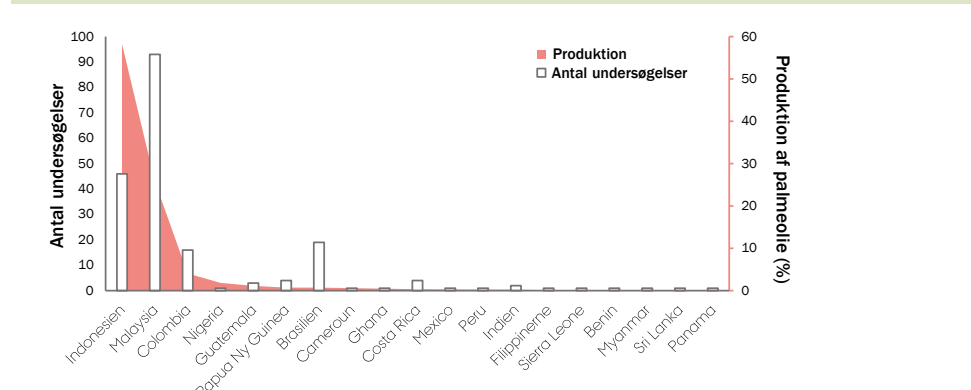
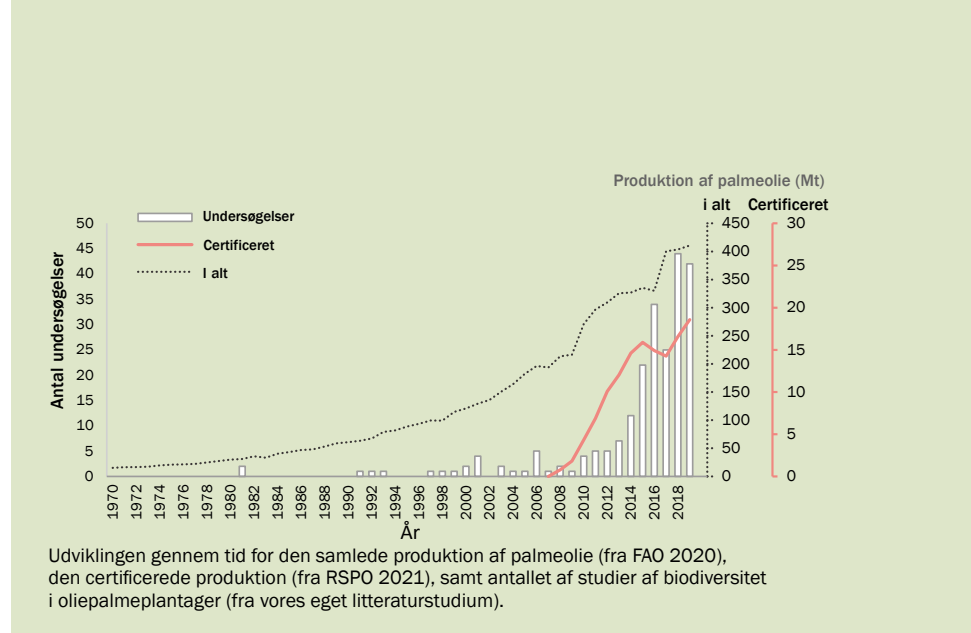
stadig store huller i vores viden om – og ikke noget overblik over – økologiske effekter af oliepalmedyrkning. I et forsøg på at tilvejebringe et sådant overblik har vi udført en systematisk gennemgang af publicerede undersøgelser af effekter af oliepalmeplantager på lokal biodiversitet. Vi fandt i alt 158 relevante artikler, som dækkede et bredt udsnit af organismegrupper. Vores analyse viste en tydelig tendens til, at oliepalmeplantager huser en lavere rigdom af arter i stort set alle grupper af organismer sammenlignet med tropisk regnskov, endog også sammenlignet med forstyrret (sekundær) tropeskov. Derudover er der generelt færre sjældne og specialiserede arter i plantagerne.

Oliepalmeplantager kontra anden arealudnyttelse

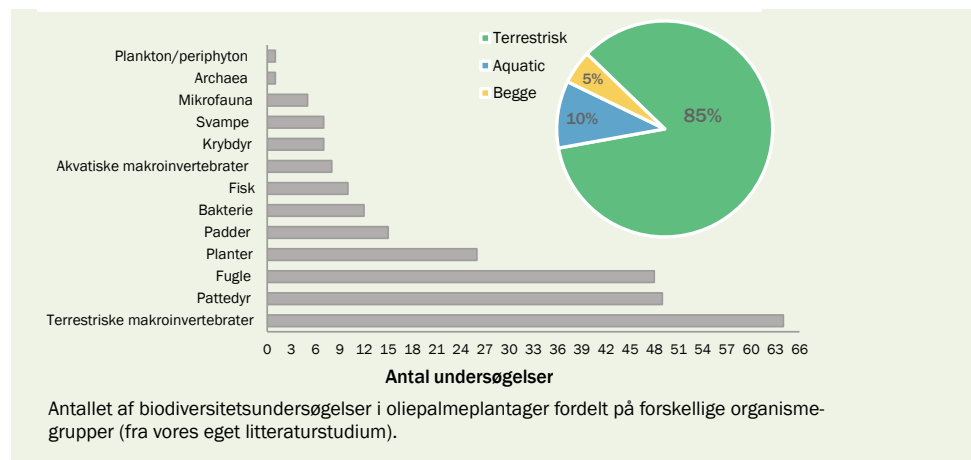
Men hvad nu i de tilfælde, hvor oliepalmeplantager ikke erstatter naturlig regnskov, men derimod andre former for landbrugsjord som åbne græsgange – har de da stadig en negativ effekt på biodiversiteten? Det er nemlig sådan, at anlæggelse af oliepalmeplantager i mange tilfælde ikke er lig med rydning af tropisk regnskov, men i stedet erstatter andre allerede ændrede arealer. En oversigt udført af IUCN fandt, at på global plan blev cirka halvdelen af oliepalmeplantagerne i perioden 1972-2015 anlagt på skovdækkede arealer, mens den resterende halvdel erstattede andre typer af arealer som opdyrket jord, græsgange og buskland. Der er dog meget store regionale forskelle.

IUCN's rapport viste nemlig, at mens 68 % af plantagerne i Malaysia blev anlagt, hvor der tidligere var regnskov, var tallet 44 % i Peruviansk Amazonas, men kun 5-6 % i Mellem- og Sydamerika samt Vestafrika. Eller angivet på en lidt anden måde, så kunne for eksempel 47 % af skovrydningen i Malaysia, 16 % i Indonesien, men kun 3 % i Nigeria, tilskrives oliepalmer.

I vores litteraturgennemgang ledte vi således også efter forskelle mellem biodiversiteten i oliepalmeplantager sammenlignet med andre



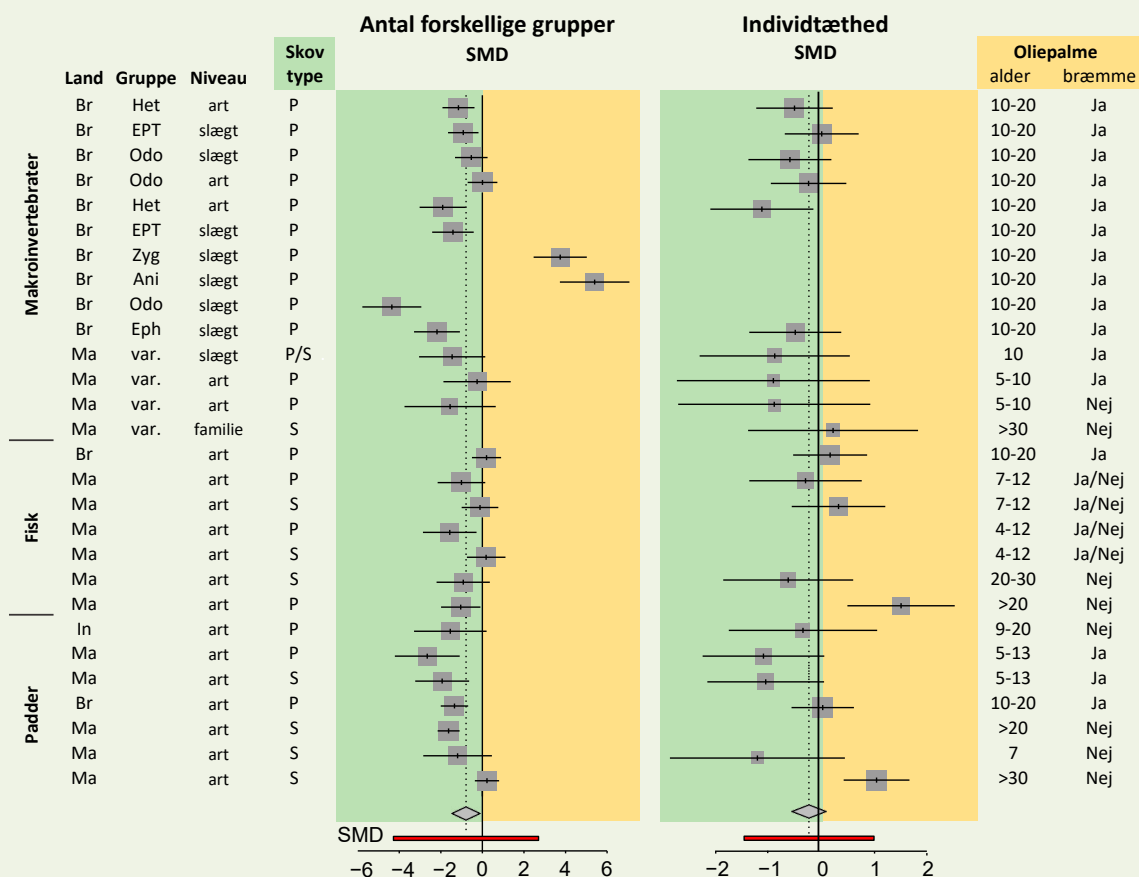
Rangering af landene med den største produktion af palmeolie (faldende mod højre) og antallet af biodiversitetsstudier fra de samme lande (fra vores eget litteraturstudium).



typer af arealudnyttelse end tropisk skov, det være sig gummiplantager, åbne græsgange, afgrøder og frugtplantager, samt tømmerplantager. Resultaterne varierer noget mellem de forskellige arealudnyttelser, men det overordnede billede er, at oliepalmeplantager hverken er værre eller bedre end andre menneskabte vegetationstyper. Der sås dog en tendens til, at forskellige organismegrupper responderer forskelligt på forskellige arealudnyttelser. For eksempel synes gummiplantager at have lavere rigdom af særligt epify-

ter og protister (encellede organismer som alger), men højere rigdom af fugle og insekter end oliepalmeplantager. Åbne græsgange har generelt højere rigdom af fugle, pattedyr, planter, krybdyr og insekter, mens områder med afgrødedyrkning synes af have mindre diversitet af insekter og pattedyr, men flere arter af krybdyr og fugle end oliepalmeplantager. Så alt tyder på, at hvis oliepalmer erstatter andre menneskabte arealudnyttelser, har det ikke nødvendigvis en negativ effekt på den samlede biodiversitet.

Resultatet af meta-analyse



Resultatet af vores meta-analyse af studier, som sammenligner antallet af forskellige organismegrupper (altså biodiversiteten) og deres individtæthed i vandløb omgivet af skov versus oliepalmeplantager. Forkortelser for landene hvor undersøgelserne er foretaget; Br: Brasilien, Ma: Malaysia, In: Indonesien. Makroinvertebrater (smådyr) er opdelt i forskellige grupper; Het: Heteroptera (tæger), EPT: Ephemeroptera, Plecoptera, og Trichoptera (døgnfluer, slørvinger og vårflyer), Eph: Ephemeroptera (døgnfluer), Odo: Odonata (guldsmede), Zyg: Zygotera (vandnymfer), Ani: Anisoptera (rigtige guldsmede), var: "various" (flere end tre forskellige ordener). Niveau angiver på hvilket bestemmelsesniveau af organismerne den givne undersøgelse er lavet. Skovtype angiver, om der var tale om primær (P) eller sekundær (S) skov. Endelig er alderen i år af de undersøgte plantager samt

tilstedeværelsen af eventuelle skovbræmmer omkring vandløbene i plantagerne angivet.

Hver gruppe eller undersøgelse er angivet med et firkantet punkt. Hvis dette ligger i den grønne zone blev der fundet flere grupper (venstre panel) eller individer (højre panel) i skoven sammenlignet med oliepalmeplantagen. Omvendt for de datapunkter, som ligger i det gule område. De små vandrette streger omkring datapunkterne angiver den statistiske sikkerhed på resultatet. Den lille åbne diamant nederst i panelerne angiver gennemsnittet af alle studierne (SMD = "standard mean difference"). Forskellen mellem skov og oliepalme er mere tydelig på antallet af forskellige organismegrupper end på individtæthed, men for begge er effekten statistisk holdbar testet med en såkaldt "random effects model".

Oliepalmer og de ferske vande

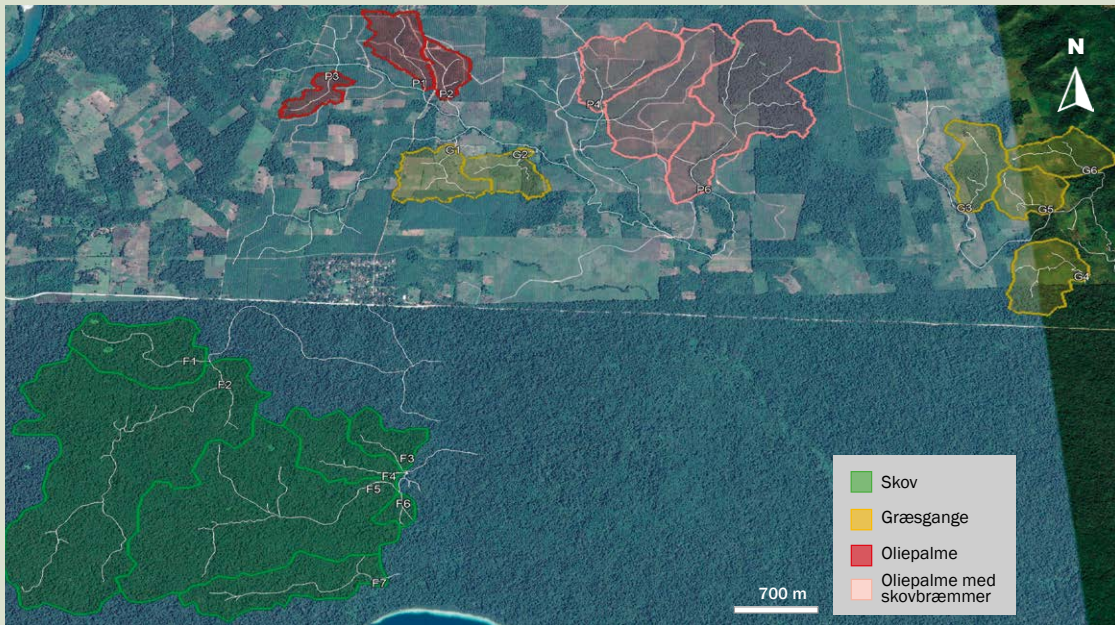
Effekten af oliepalmeplantager på biodiversiteten af ferskvandsorganismer i søer og vandløb omkranset af plantagerne er et område, som har fået ganske lidt opmærksomhed, og det er både bekymrende og overraskende, fordi disse grupper er særligt gode som biologiske indikatorer for miljøtilstand og vandkvalitet. Derfor har vi valgt at fokusere en mere dybdegående analyse af

effekter på disse systemer og organismegrupper.

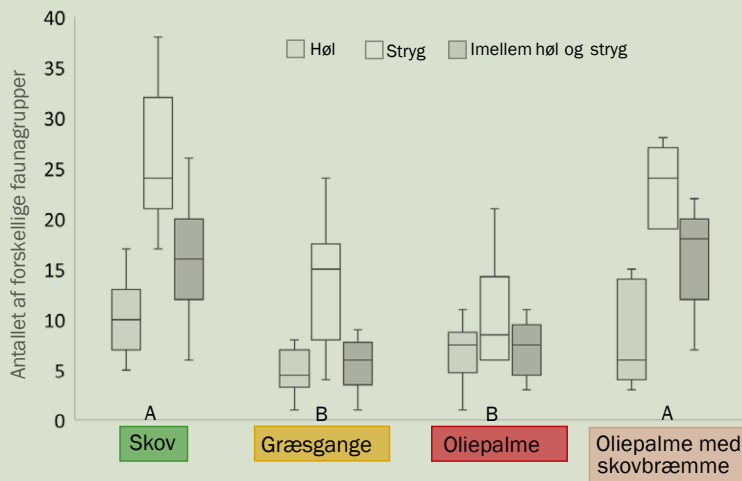
Oliepalmedyrkning indebærer ofte anlæggelse af veje og drænsystemer samt eventuelt etablering af terrasser og andet jordarbejde ved brug af tunge maskiner. Resultatet er komprimering af jorden, som kan medføre reduceret nedsvivning af regnvand, øget overfladisk afstrømning og erosion, større udsving i

vandløbenes vandføring, eventuelt med jævnlig udtørring.

Ved erstatning af naturlig skovvegetation med oliepalmer øges både luft- og vandtemperaturen med 3-7 °C på grund af øget solindstråling og reduceret fordampning (evapo-transpiration). Denne ændring fortsætter selv flere år efter anlæggelsen af plantagen. Dette har væsentlige effekter i vandet,



Feltundersøgelser i Guatemala: Satellitfoto af undersøgelsesområdet med oplandet til de undersøgte fire typer af vandløb er angivet med forskellige farvekoder. Grænsen mellem den skovdækkede nationalpark Laguna Lachuá og området mod nord med plantager og græsgange ses meget tydeligt.



Boxdiagram som viser antallet af forskellige grupper (biodiversiteten) i smådyrsfaunaen (makroinvertebrater) i de fire typer af vandløb. Den midterste vandrette streg i boxen angiver medianværdien, og de lodrette 50 % percentiler over og under medianværdien. Sammenligningen er gjort særskilt for tre forskellige habitattyper i vandløbene.



Lille vandløb gennem oliepalmeplantage. Foto: Oscar Rojas

idet itlkoncentrationen falder, samtidig med at organismers stofskifte og dermed itlkrav øges. Derudover kan algeproduktionen stige. Vandkvaliteten er ofte også påvirket, fordi oliepalmedyrkning er storforbruger af kunstgødning og diverse pesticider, som i større eller mindre grad udvaskes til vandløbene.

Det var derfor ikke overraskende, at vores fokuserede analyse af til-

gængelige litteraturredata (en såkaldt meta-analyse) påviste systematiske og statistisk holdbare effekter på ferskvandsorganismer. Vandløb i oliepalmeplantager huser i gennemsnit 16 %, 19 % og 28 % færre arter af henholdsvis bundlevende smådyr (makroinvertebrater), fisk og padder, sammenlignet med tilsvarende vandløb i tropeskov. Tætheden af individer, derimod, påvirkes mindre tydeligt, idet antallet af generali-

ster synes at øges, mens de mere specialiserede arter reduceres i individualt i plantagerne.

Vi har også udført vores egne feltundersøgelser i Guatemala. Her fokuserede vi på et mindre område med både uberørt regnskov, oliepalmeplantager og åbne græsgange, og i hver af disse vegetationstyper udvalgte vi seks sammenlignelige små vandløb og tog

Projektet er økonomisk støttet af EU's talent program, Det Natur- og biovidenskabelige Fakultet og Biologisk Institut ved Københavns Universitet.



Forskellen på vegetationsdækket over vandløb med skovbræmme (tv) og vandløb i oliepalmeplantage uden skovbræmme (th). Fotos: Oscar Rojas.

Videre læsning:

Savilaakso S, Garcia C, Garcia-Ulloa J, et al (2014) Systematic review of effects on biodiversity from oil palm production. *Environ Evid* 3:4

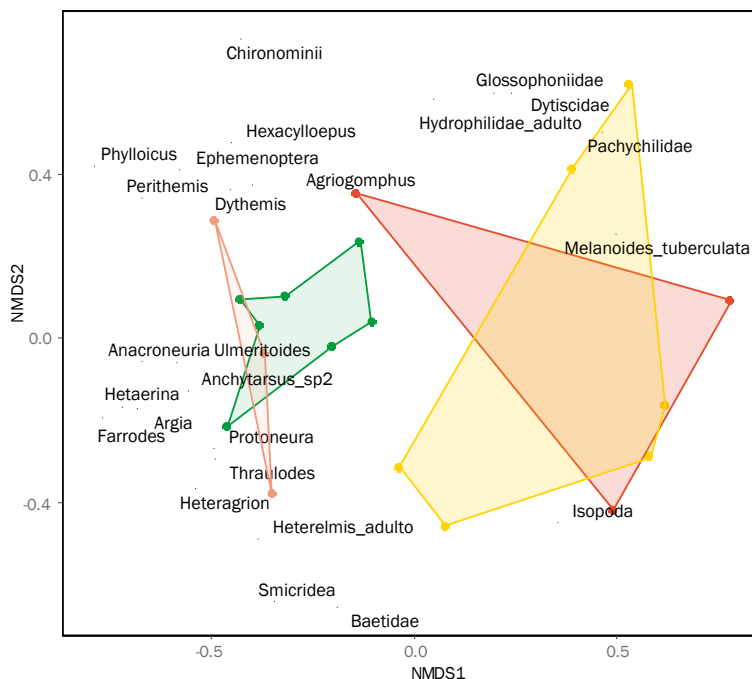
Juen L, Cunha EJ, Carvalho FG, et al (2016) Effects of oil palm plantations on the habitat structure and biota of streams in Eastern Amazon. *River Res Appl* 32:2081–2094. <https://doi.org/10.1002/rra.3050>

Meijaard E, Brooks TM, Carlson KM, et al (2020) The environmental impacts of palm oil in context. *Nat Plants* 6:1418–1426. <https://doi.org/10.1038/s41477-020-00813-w>

Meijaard E, Garcia-Ulloa J, Sheil D, et al (2018) Oil palm and biodiversity—a situation analysis. IUCN, Gland, Switzerland, Gland, Switzerland

Vijay V, Pimm SL, Jenkins CN, Smith SJ (2016) The Impacts of Oil Palm on Recent Deforestation and Biodiversity Loss. *PLoS One* 11:e0159668. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159668>

Leal CG, Lennox GD, Ferraz SFB, et al (2020) Integrated terrestrial-freshwater planning doubles conservation of tropical aquatic species. *Science* (80-) 370:117–121. <https://doi.org/10.1126/science.aba7580>



Resultatet af en NMDS ordination (“Non-metric Multidimensional Scaling”) på sammensætningen af vandløbenes makroinvertebratfauna. Hver datapunkt angiver et vandløb, og den tilhørende samme vegetationstype er omkranset og farvelagt i lighed med boxplottet og satellitfotoet på forrige side. Datapunkter, som ligger tæt på hinanden, har en fauna, som i høj grad udgøres af de samme arter, mens punkter som ligger langt fra hinanden betyder vandløb med få arter tilfældes. De latinske navne på de væsentligste grupper (slægter og familier) af makroinvertebrater er placeret i nærheden af de lokaliteter hvor de var mest talrige. Det er tydeligt, at oliepalmevandløbene uden skovbræmmer overlapper græsningsvandløbene, så de to vandløbstypers fauna minder meget om hinanden. Oliepalmevandløbene med skovbræmmer ligner derimod mere de egentlige skovvandløb.

en række prøver. Disse undersøgelser viste tydeligt, at vandløb i den naturlige regnskov i gennemsnit huser markant flere arter af smådyr (for eksempel insektlarver, orme, bløddyr, krebsdyr) end de to andre typer vandløb, og at oliepalme- og græsgangevandløb har nogenlunde den samme biodiversitet. Vores undersøgelser viste altså, at omlæg-

ning af græsgange til oliepalmeplantager ikke i sig selv skader den akvatiske biodiversitet.

Skovbræmmer mellem vandløb og oliepalmer

Men hvad vores feltundersøgelser også viste var, at oliepalmevandløb med en stribe naturlig skov langs med brinkerne (såkaldt riparisk

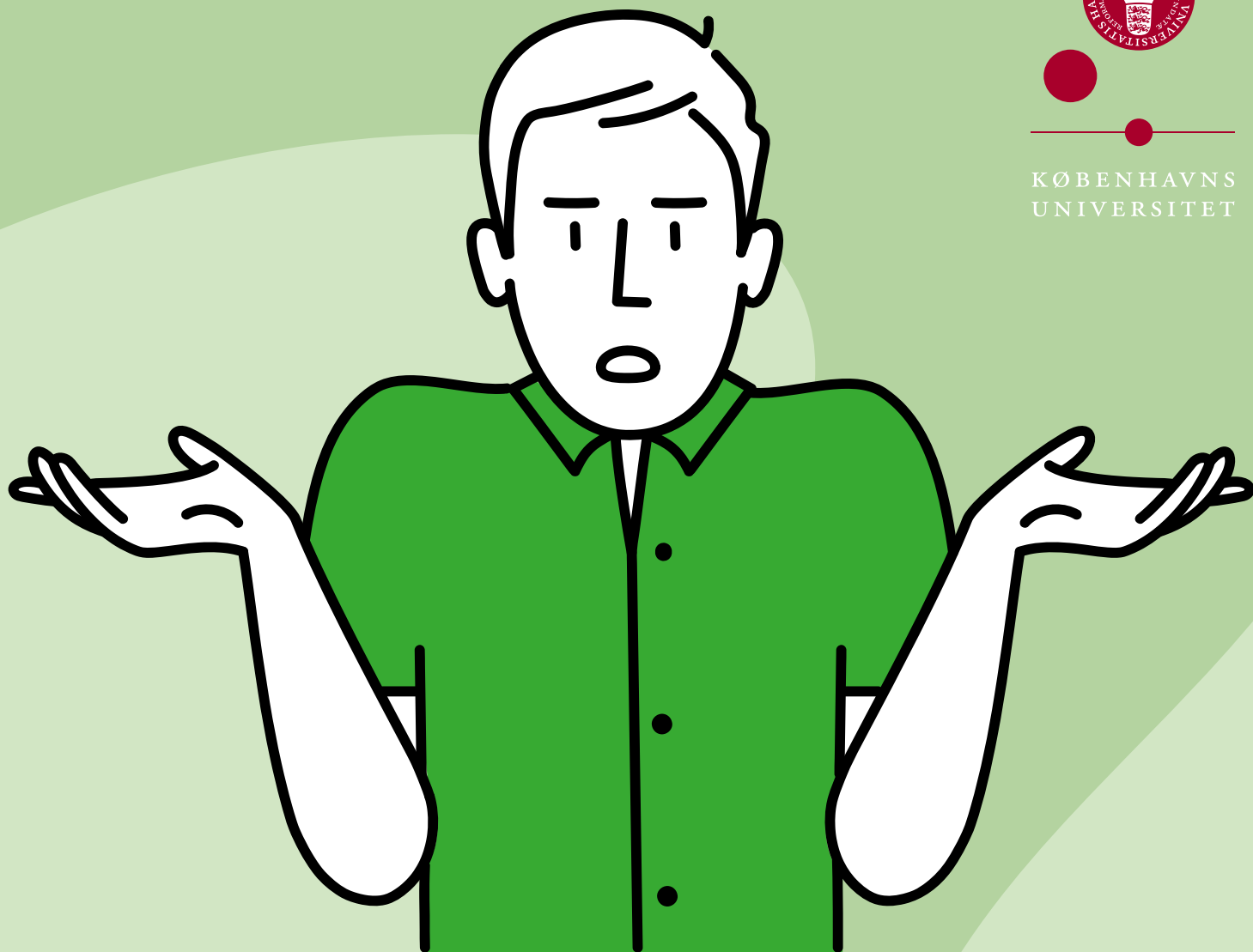
skov), mellem selve vandløbet og oliepalmerne, altså det vi i Danmark kalder bræmmer, har en biodiversitet stort set på niveau med de rigtige regnskovsvandløb. Dette så vi særligt i strygene (lavvandede områder med frisk strøm og groft bundsubstrat) og i mindre grad i høllerne (dybe partier med langsomt flydende vand). Samme mønster gør sig gældende, når vi ser mere indgående på sammensætningen af faunaen, altså hvilke arter som er tilstede. Det er tydeligt, at faunaen i oliepalmevandløb uden skovbræmme og græsgangevandløb adskiller sig væsentligt fra naturlige regnskovsvandløb, mens bræmmer omkring oliepalmevandløb sikrer næsten naturlige samfund.

Bevarelsen af disse skovbræmmer, eller bufferzoner om man vil, synes derfor at være et vigtigt redskab til at beskytte den akvatiske biodiversitet i tropiske plantagevandløb. Det er et eksempel på det, man i dag med et moderne udtryk kalder naturbaserede løsninger (måske bedre kendt som “Nature based solutions”). Præcis hvor brede de skal være for at opnå god effekt i oliepalmeplantager er endnu ikke klarlagt, og det afhænger uden tvivl af en række lokale forhold (for eksempel jordbund, klima, plantagens alder, vandløbets størrelse og fysiske forhold), men i vores feltundersøgelser varierede bræmmerne mellem 10 og 25 meters bredde. Vegetationsbræmmer har formentlig den største direkte miljøeffekt langs med de øvre dele af vandløbssystemer. En anden fordel er, at naturlige vegetationsbræmmer også er med til at sikre forbindelsen og spredningsmuligheder mellem forskellige tilbageværende skovområder.

Her er altså et eksempel på, at miljøbeskyttelse målrettet ferskvandssystemer også gavner naturen på land. En sikring af ripariske skovbræmmer langs vandløb i olieplantager bør således være en del af de anvendte certificeringsprogrammer. ■



KØBENHAVNS
UNIVERSITET



Fødevarer og ernæring, naturressourcer eller ... ?

Hvis du vil læse en naturvidenskabelig uddannelse, har du mange valgmuligheder – og det er helt ok at være i tvivl.

På Københavns Universitet står vi klar til at vejlede dig både i forhold til dit studievalg og din ansøgning. På studier.ku.dk/science kan du

læse om de naturvidenskabelige uddannelser og fx tage et **uddannelsestjek** på dem, du hælder mest til. Adgangskrav, ansøgning, prioritering af uddannelser og særlig støtte kan du få hjælp til hos vejlederne i **KU Studentercenter**.

Ansøgningsfrist 5. juli 2022.

studier.ku.dk/science

EN SIKKER GENÅBNING

– matematisk set

Forskere fra Aalborg Universitet har udarbejdet en model, der kan forudsige hvor længe og hvor mange man skal teste for at være sikker på, om en virus er uddød eller ej. Den matematiske model kan gøre isolationsstrategien mere effektiv, når den næste pandemi rammer.

Det trækker dybe spor gennem samfundet, når farlige virus og mutationer fremtvinger nedlukning og isolation. En ny model udviklet af forskere på Aalborg Universitet (AAU) kan hjælpe myndigheder med at få et mere nøjagtigt billede af, hvornår enkelte mutationer af en virus kan anses for at være bekæmpet. Det kan spare os for millioner af kroner i unødvendige test og nedlukninger.

Bag modellen står en gruppe forskere fra Det Sundhedsvidenskabelige Fakultet og Det Tekniske Fakultet for IT og Design på AAU. Med udgangspunkt i data fra coronamutationer i de nordjyske mink i efteråret 2020, har de udarbejdet en model, der viser, hvornår man kan være sikker på, at en virusvariant ikke længere findes i samfundet.

Mutationer skjuler sig i menneskehavet

En af udfordringerne ved at bekæmpe en virus som COVID-19 med forskellige mutationer er, at man ikke kan teste alle på samme tid, og at det ikke er alle smittede, der bærer den samme genetiske mutation. Derfor kan aktive mutationer "gemme sig" længe i befolkningen, hvis de ikke dukker op i testresultaterne – enten fordi de smittede ikke bliver



Foto: Colourbox

testet, eller fordi de positive test ikke efterfølgende bliver gennemsekventeret.

For at være sikker på, hvilken mutation, en smittet har i kroppen, skal en positiv PCR-test nemlig sendes til genomsekventering. Her bliver virusens nøjagtige genetiske kode kortlagt. Problemet er, at genomsekventering tager tid, og derfor er det ikke alle positive test, der bliver sekventeret og kortlagt. Den usikkerhedsfaktor er afgørende for, hvor nøjagtigt man kan vide om

en nedlukning skal forlænges eller afblæses.

»Det kan godt være, at man ikke finder nogen bærere af mutationen i ugevis, men derfor kan den stadigvæk godt være aktiv i befolkningen,« forklarer Martin Bøgsted fra Det Sundhedsvidenskabelige Fakultet på AAU.

Kort over det ukendte

For at komme usikkerheden til livs – eller i det mindste omdanne den til mere håndfaste tal – er forskerne

Om forfatteren

Jakob Brodersen er freelancejournalist

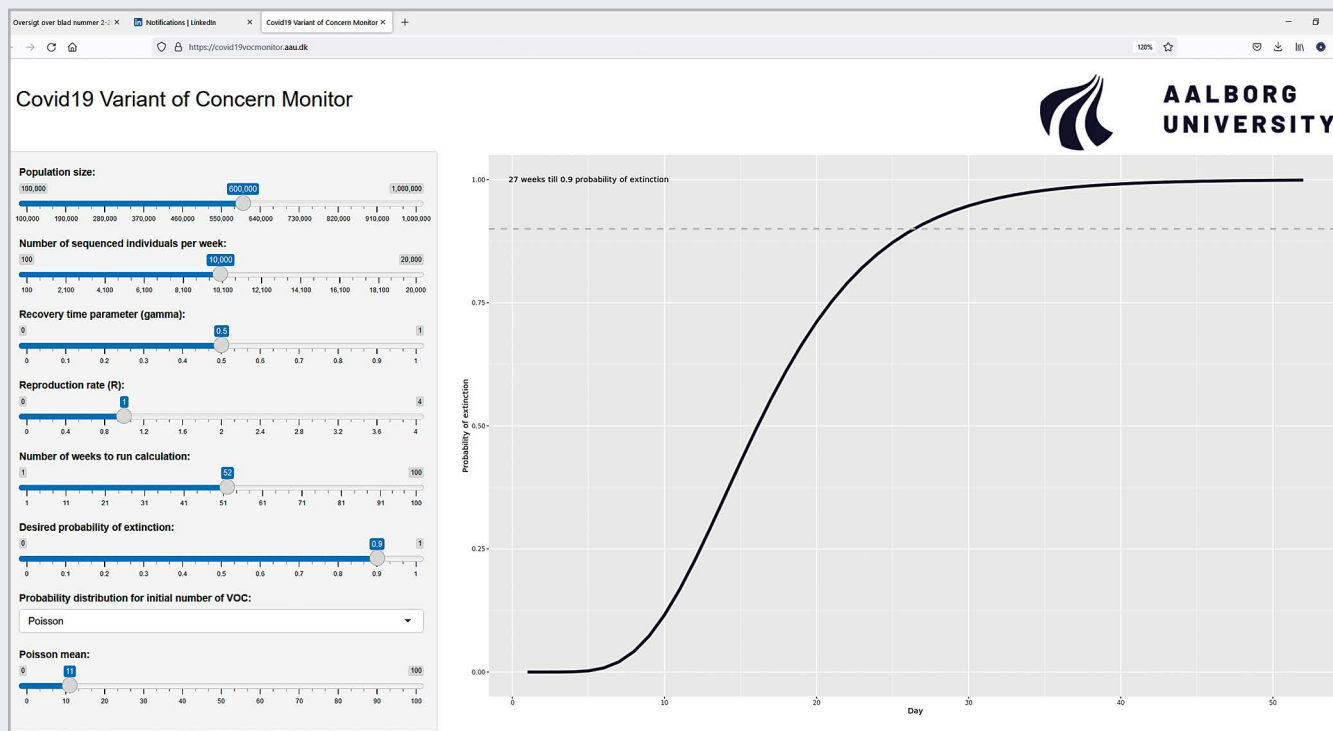
Om forskerne



Jakob Stoustrup er professor og prodekan ved Det tekniske Fakultet for IT og Design, Aalborg Universitet. jakob@es.aau.dk



Martin Bøgsted er professor ved Klinisk Institut, Aalborg Universitet. m_boegsted@dcm.aau.dk



Simuler selv en genoplukning

Du kan selv prøve at simulere en genoplukning med AAU's model via dette link: covid19vocmonitor.aau.dk

Beregningsmodellen implementerer den matematiske model, der er beskrevet i den videnskabelige artikel. Artiklen beskriver, hvordan sammenhængen mellem sygdomsforløb og teststrategi kan udtrykkes ved en såkaldt *skjult Markov model*. De underliggende statistiske fordelinger er komplekse, såkaldte *hypergeometriske*

fordelinger, men artiklen beskriver ligeledes, hvordan en enklere model kan opnås gennem en *Poisson-approximation*. Alt i alt fører dette til, at et estimat af det aktuelle antal smittede med en bestemt virus-variant kan beregnes gennem to simple, iterative formler. Modellen viser sandsynligheden for, at en bestemt virusvariant er uddød. Den vandrette akse er tid siden start. Den lodrette akse er sandsynlighed for, at varianten er uddød i den betragtede population.

De indgående parametre i beregningsmodellen er:

Populationsstørrelse:

Denne er sat til max 1 million for at begrænse serverbelastningen. For større befolkningsgrupper kan man eventuelt som approksimation skalere resultaterne.

Antal sekventerede per uge:

I Danmark har teststrategien været så vidt muligt at sekventere hele virusgenomet på alle positive PCR-prøver. Ved for eksempel 200.000 daglige prøver og en positivprocent på eksempelvis 1%, vil det altså resultere i 14.000 ugentlige helgenomsekventeringer.

Revalideringsparameter (γ):

$1/D$, hvor D er det antal uger, en gennemsnitlig patient er syg. For COVID-19 er γ typisk i intervallet 0,5-1,0.

Reproduktionsrate (R):

Det forventede antal infektioner som følge af en given infektion. Hvis $R < 1$ vil smitten være aftagende, hvis $R > 1$ vil smitten være stigende.

Antal uger for simulering:

Afhængig af de øvrige parametre kan det være nødven-

digt at simulere kortere eller længere tid. Simuleringens længde skal tilpasses, så man opnår den ønskede sandsynlighed for uddøen, se nedenfor.

Ønsket sandsynlighed for uddøen:

Denne parameter tegner blot en vandret linje, der angiver det ønskede sandsynlighedsniveau, altså hvor sikker man ønsker at være på, at den betragtede variant er uddød.

Sandsynlighedsfordeling for begyndelsessmitte:

Artiklen angiver tre modeller for sandsynlighedsfordeling af smitten ved simuleringens start: atomisk fordeling, Poisson-fordeling og ligelig fordeling. I artiklen argumenteres der for, at Poisson-modellen er særligt velegnet, men de to øvrige er til rådighed for fuldstændighedens skyld. Til hver fordeling knytter sig en karakteristisk parameter, der ligeledes skal indstilles. Eksempelvis er "Poisson mean" gennemsnittet i den Poisson-fordeling, der modellerer antallet af testede personer, der har den betragtede variant. Den kan beregnes som antallet af testede ganget med den andel, der har den pågældende variant.



Foto: Colourbox

fra de to fakulteter på AAU gået sammen om at udvikle en matematisk model, der skal gøre sundhedsmyndighederne klogere på, hvornår de kan stole på, at "nul smittede" nu også betyder, at en virusvariant reelt er udryddet i en befolkningsgruppe.

I modellen kan man indstille, hvor mange smittede, der sandsynligvis har været i en befolkningsgruppe til at begynde med. Herefter indtaster man befolkningens størrelse, og hvor mange genomsekventeringer man kan gennemføre om ugen.

Det, der gør modellen speciel, er muligheden for at justere, hvor hurtigt patienterne kommer sig efter at være blevet smittet, og hvor smitsom virusvarianten er. De tal regner sundhedsmyndighederne ud, og de er i sagens natur afgørende for, hvor hurtigt man kan begynde at slække på restriktionerne igen.

Pudsigt nok er en meget smitsom variant hurtigere udryddet, fordi den ikke vil kunne "gemme" sig i befolkningen på samme måde som en, der er mindre smitsom.

Når alle tallene er lagt ind i modellen, tegner den en kurve over den statistiske sikkerhed for, at en virusvariant er udryddet i en

befolkningsgruppe.

Her kan man se, hvor lang tid der skal gå med en given testindsats i en befolkningsgruppe, før kurven når over 70, 80, 90 eller 100 percents statistisk sandsynlighed for at være uddød.

Med modellen i hånden, får myndighederne et statistisk redskab, som potentielt kan forhindre dem i at holde samfundet lukket for længe – eller at lukke op for hurtigt, og dermed spille indsatsen på gulvet.

Et nul er ikke et nul med det samme

Ideen til at udvikle modellen kom under nedlukningen af seks nordjyske kommuner i efteråret 2020, hvor en potentielt vaccineresistent mutation var dukket op i nordjyske mink.

Selv om genomsekventering kun havde afsløret i alt 11 tilfælde af den såkaldte Cluster5-mutation fordelt på fire uger i sensommeren, skulle der gå yderligere næsten 15 uger med nul smittede med Cluster5, før sundhedsmyndighederne kunne føle sig sikre på, at den var blevet udryddet. Den nøjagtige matematiske model fandtes nemlig ikke på det tidspunkt, og det tvang sundhedsmyndighederne til at træffe deres beslutninger på et

mere usikkert grundlag, end hvis samme situation skulle opstå igen.

»Havde vi haft modellen dengang, ville man kunne regne sig frem til, hvornår det var sikkert at lukke samfundet op igen,« siger Martin Bøgsted.

Kan hjælpe hele verden

Modellen fra Aalborg er blevet offentliggjort i tidsskriftet *Scientific Reports* og ligger nu frit tilgængelig til lignende scenarier i fremtiden. Til gavn for ikke bare Danmark, men for hele verden, siger Jakob Stoustrup, der er professor ved Det Tekniske Fakultet for IT og Design.

»Nu er modellen en del af det beredskab, som nationer og myndigheder rundt omkring i verden har til rådighed i deres arsenal. Vi håber, at den kommer til bred anvendelse,« siger han.

»Isolationsstrategier har mange omkostninger; økonomisk, socialt og menneskeligt på tvivsel, folkesundhed og personlig frihed. Derfor er det vigtigt at få hævet isolationen igen så hurtigt som muligt. Det har vi givet et beregningsgrundlag for nu,« fastslår Jakob Stoustrup, der desuden er medlem af den faglige referencegruppe, der har rådgivet Folketinget om behandlingen af coronapandemien siden efteråret 2020.

Forskere på mission

For Jakob Stoustrup har det været helt naturligt at kaste, hvad han ellers havde i hænderne for at forsøge at bringe sin viden i anvendelse i den akutte krise, som COVID-19 pandemien har været. »Jeg ser det som en naturlig del af, at vi på AAU ser os selv som et missionsdrevet universitet, hvor forskningen og undervisningen tager afsæt i virkelige, samfundsmæssige udfordringer,« siger han.

»Vi forsøger derfor altid at stille os an på en måde, så vores viden og forskning på bedst mulig måde kan være med til at løse de globale udfordringer, vi står overfor.« ■

Videre læsning

Læs den videnskabelige artikel i *Scientific Report*: www.nature.com/articles/s41598-021-04108-8

Siden april 2020 har Aalborg Universitet sammen med bl.a. DTU og Statens Seruminstitut forsket i COVID-19 med midler fra Novo Nordisk-fonden. Det er med midler herfra, projektet med modellering af hensigtsmæssig genåbning er gennemført.

Læs Natur- videnskabelig Bachelor

”

Vi finder et problem,
og så leder vi efter
naturvidenskabelige
metoder til at løse det.

Vi samarbejder fx med
hospitaller om modeller for,
hvor lang tid kroppen kan
tåle behandling med
strålingsterapi mod kræft.”

— Max har læst Naturvidenskabelig Bachelor





**MAKE IT
REAL**

På AAU har vi en række tilbud til lærere og elever på de gymnasiale uddannelsesinstitutioner.

Som lærer kan du bl.a. finde inspiration til din undervisning og tilbud om faglig opkvalificering.

I vores online videounivers, AAU Play, kan du streamer undervisningsmateriale og finde tilhørende opgavesæt, som dine elever kan arbejde med.

Når der er tid til SRP eller SOP, er der også hjælp at hente for dine elever med bl.a. masser af tilbud inden for de naturvidenskabelige og tekniske fag.

Du kan også tage en hel klasse med ud til os til et fagligt oplæg og en rundvisning.

**LÆS MERE PÅ:
AAU.DK/SAMARBEJDE**

BESØG AALBORG UNIVERSITET



AALBORG UNIVERSITET
AALBORG ESBJERG KØBENHAVN



Undervisningsmaterialer

Find dem på AktuelNaturvidenskab.dk

Klimaforandringer og tornadoer

Materialet indeholder et forslag til to moduler på 70 minutter. Materialet fokuserer på tornadoer med udgangspunkt i artiklen *Tornadoer – lokale, voldsomme og uforudsigelige* af Jesper Eriksen fra *Aktuel Naturvidenskab* nr. 5, 2021. Emnet er endvidere inspireret af foredraget om klimaforandringer af Jens Hesselberg Christensen i serien *Offentlige Foredrag i Naturvidenskab* i marts måned.

Modulerne kan indgå i et større forløb om klimaforandringer, ekstreme vejrfænomener eller tornadoer og er tiltænkt naturgeografi c/b niveau. De to moduler omfatter 5 specifikke opgaver med følgende temaer:

Opgave 1: Beaufort-skalaen - vindhastigheder

Opgave 2: 10 arbejdsspørgsmål til artiklen om tornadoer i *Aktuel Naturvidenskab*

Opgave 3: Øvelse i at forklare nøgleord

Opgave 4: Eksempler fra virkeligheden – analyse af forskellige figurer, som skal munde ud i en formulering af en problemstilling omkring udviklingen af tornadoer. Denne skal besvares, og der skal laves en lille powerpoint omkring det.

Opgave 5: Find information om ødelæggelser forårsaget af tornadoer.

Materialet er udarbejdet af projektgruppen på Viborg Katedralskole.

Undervisningsmaterialeerne er udarbejdet i forbindelse med projektet Brobygning på første række finansieret af Novo Nordisk Fonden.

ABONNEMENTS-SERVICE

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

Kontakt os på telefon:

8715 2094 / 3036 0662

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

- **Birgitte Lyhne Broksø**, kommunikationschef, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- **Jane Thoning Callesen**, communication manager, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Torben Jarl Jørgensen**, kommunikationskonsulent, Roskilde Universitet
- **Mikkel Linnemann Johansson**, teamleder, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Sanne Holm Nielsen**, kommunikationsmedarbejder, Aalborg Universitet
- **David Lundbek Egholm**, prodekan ved 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: 5.000



Redaktionsgruppe

- **Sune Holst**, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Birgitte Svennevig**, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Carsten Rabæk Kjaer**, *Aktuel Naturvidenskab*
- **Jørgen Dahlgaard**, *Aktuel Naturvidenskab*
- **Michael Skov Jensen**, Københavns Universitet (Vakant), Aalborg Universitet
- **Signe Hansen**, Viborg Gymnasium og HF
- **Torben Jarl Jørgensen**, Roskilde Universitet

Redaktionen:

Telefon: 8715 2094 / 3036 0660 / 3036 0662

E-mail: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk

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

Omlagsfoto:

Skimmelsvampe kan være svære at fjerne i bygninger. Foto: Shutterstock.

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

Den svære samtale

Af Carsten R. Kjaer, Aktuel Naturvidenskab

Siden sidste bagside har Danmarks Radio bragt sig i unåde i forskerverdenen på grund af en programserie med et skjult kamera-agtigt koncept. Her har blandt andet astrofysiker og professor i videnskabsformidling Anja C. Andersen og professor i evolutionsbiologi Peter C. Kjærgaard optrådt i en tilsyneladende almindelig interviewsituation med en journalist, der dog i virkeligheden blot agerer passiv videreformidler af spørgsmål fra henholdsvis en "fladjords-tilhænger" og en kreationist i baglokalet. Forskerne blev først orienteret om denne detalje før dagen før første udsendelse, og de føler sig nu misbrugt af DR, som mange forskere nu beskylder for at medvirke til at sprede *fake news*. Heldigvis lader det til, at der er stor enighed mellem forskere og de fleste mediefolk om, at her har DR dummet sig. I skrivende stund er det vist blot DR, der mangler at indse det.

En kunst at føre meningsfulde samtaler

I kølvandet på misæren har der i mange medier (især de sociale) været talrige indlæg om forskellen mellem viden og synspunkter og om samarbejdet mellem eksperter og journalister. DR's forsvar for programmet (udover at det var satire) var, at konceptet gav mulighed for samtaler, der ellers ikke vil blive ført. Og det rejser jo det gode spørgsmål, hvor man sætter grænsen for, hvem man kan føre meningsfulde samtaler med som videnskabsperson – og på hvilke betingelser. Det spørgsmål giver jeg straks videre til Kristian Hvidtfelt Nielsen, der er lektor og leder af Center for Videnskabsstudier ved Aarhus Universitet:

»Det kan såmænd være svært nok at føre meningsfulde samtaler med folk, man anser for fornuftige, så det er selvfølgelig et håbløst projekt at iscenesætte en skjult samtale mellem



Foto: Shutterstock

videnskabsfolk og videnskabsfornægtere. Videnskabelige fakta spiller ingen rolle i den diskussion, men forstærker bare modsætningen. For at få en meningsfuld samtale – og det gælder i alle situationer – er du nødt til først at skabe tillid og opbygge et fælles fundament for samtalen,« siger Kristian.

Fakta og forståelse

En meningsfuld samtale om videnskab forudsætter en forståelse af, hvad videnskab er, og hvordan videnskaben fungerer, understreger Kristian Hvidtfelt Nielsen.

»Der skal være en vis enighed om, hvad fakta er, og hvordan fakta skal forstås, før det giver mening at diskutere fakta. Derfor kan en faktabaseret samtale mellem videnskabsfolk og fladjords-tilhængere aldrig blive særlig meningsfuld.«

Han gør dog opmærksom på, at der er forskel på de mange anti-videnskabelige

bevægelser, og det ikke (kun) er modstand mod videnskaben, der driver dem. Også ideologi eller økonomiske interesser kan være i spil.

»Jeg håber, at alle videnskabsforkæmpere som Anja C. Andersen og Peter C. Kjærgaard vil fortsætte den offentlige samtale om videnskab – også med fornægterne og tvivlerne. I stedet for at tale om de hårde fakta vil det måske i stedet give mening at være nysgerrig på modpartens standpunkt og værdier. At prøve at forstå, hvad deres "fakta" bygger på, og hvorfor de holder så stædigt fast i dem. Videnskaben skal nok vinde kampen om fakta – nu gælder det kampen om tillid og gensidig forståelse. Og her skal man huske, at det at forstå sin samtalepartner ikke er det samme som at være enig med eller have sympati for vedkommendes position, men at det kan skabe grundlag for en meningsfuld samtale.«